

인체 증강 기계의 동향과 전망

이지은·김희태·오승훈·이운규·김철후·길형배

- ❶ 서론
- ❷ 인체 증강 기계 유형
- ❸ 인체 증강 기계 산업 동향
- ❹ 시사점 및 제언

인체 증강 기계의 동향과 전망

이지은·김희태·오승훈·이운규·김철후·길형배

- ❶ 서론 / 1
- ❷ 인체 증강 기계 유형 / 3
- ❸ 인체 증강 기계 산업 동향 / 9
- ❹ 시사점 및 제언 / 29

기계기술정책 원문 찾아보기

- ☐ 한국기계연구원 홈페이지-새소식-기계기술정책
- ☐ 웹페이지 : https://www.kimm.re.kr/pr_policy

※ 웹페이지에서 다운로드 시, 정기구독을 신청하시면 이메일로 받아보실 수 있습니다.

Executive Summary

□ 인체 증강 기계란?

- 인체에 삽입하거나 부착·착용하여 신체의 감각과 능력을 향상시키는 기계 장비와 시스템을 통칭
- 과학기술은 인간 삶의 질을 향상시키고 활동 영역을 확장하는 방향으로 발전, 나노·바이오·정보·기계 등 융합 기술의 발전에 따라 인간 자체에 대한 관심 증가
- 로봇·제조 공학·바이오·생명공학, 정보통신·전자공학 등 다양한 기술 분야가 함께 필요한 4차 산업혁명을 대표하는 융·복합 산업의 결정체

구 분	인체 증강 기계 (예시)
착용형	▪ 외골격 로봇, 근육 옷감
부착형	▪ 인공 피부, 로봇 의수·의족
삽입형	▪ 인공 달팽이관, 인공 심장, 인공 관절

□ 인체 증강 기계의 중요성 및 기대 효과

- 장애인 삶의 질 향상, 저출산·고령화 대응 등 사회문제 해결에 기여
- 물류, 건설, 돌봄, 국방, 의료, 안전 등 다양한 산업의 생산성 향상에 기여
- 주요국은 휴먼 증강, 생활 지원 등 인체 증강 관련 도전과제를 설정하여 정책 수립

□ 인체 증강 기계의 미래상

- 인체의 구조와 기능을 회복·대체하는 것에서 그치지 않고, 잃어버린 기능을 복원해 줄 뿐만 아니라 다른 종류의 증강을 촉진시키는 방향으로 발전

* 신체기능 관점: Abnormal → Normal → Supernormal

- 쉽고 흔하게 접할 수 있으며, 보조(치료)와 증강의 개념이 점차 모호
- 인지 증강, 감각 치환, 확장 현실 기술과 접목한 시너지 효과 창출

□ 제언

- 인체 증강에 대한 분류 기준 수립 및 분야별 청사진을 제시할 수 있는 로드맵 구축 필요
- 분야별 맞춤형 정책 지원 및 사업화 연계 연구개발로 신산업 수요를 전략적으로 창출하여 세계시장 경쟁력 확보 필요

1. 서론

□ 인체 증강 기계의 정의

- 인체 증강¹⁾(Human Body Augmentation) 기계란 인체에 삽입하거나 부착·착용하여 신체의 감각과 능력을 향상시키는 기계 장비와 시스템을 통칭
 - * 좁은 의미의 인체 증강: 망실·손상된 인체의 구조와 기능을 정상 수준까지 회복하거나 대체하는 것(abnormal → normal)
 - * 넓은 의미의 인체 증강: 신체의 물리적 능력을 통상의 범위 이상으로 향상시키거나 다른 종류의 증강을 촉진시키는 것(normal → supernormal)
- 기술은 인간 삶의 질을 향상시키고 활동 영역을 확장하는 방향으로 발전 해왔으며, 최근 나노·바이오·정보·인지 등 과학기술의 융합발전에 따라 기술 또한 인간을 만들어 갈 수 있음을 알게 되어 인체 증강이라는 새로운 기술 분야 탄생
- 미국 과학 재단(NSF)이 2002년 발간한 보고서 ‘인간 능력 향상을 위한 융합 기술: 나노기술, 바이오테크놀로지, 정보기술, 인지 과학’에서 처음으로 인간 증강(Human Augmentation) 기술이 언급됨²⁾

□ 인체 증강 기계의 중요성 및 기대 효과

- 로봇·제조 공학, 바이오·생명공학, 정보통신·전자공학 등 다양한 기술 분야가 함께 필요한 4차 산업혁명을 대표하는 융·복합 산업의 결정체
 - 세계 인체 증강 시장 규모는 2019년 기준 약 340억 달러에 이르며, 2024년까지 630억 달러 규모로 성장할 전망³⁾
 - 인공지능과 결합한 지능형 로봇에 대한 수요 증가와 신시장 창출로 향후 수년 이상 고성장을 지속할 것으로 전망
- 장애인 삶의 질 향상, 저출산·고령화 대응 등 사회문제 해결에 기여
 - 우리나라의 경우 262만 명 이상의 장애인이 등록되었으며(2020년 기준)⁴⁾, 전 세계적으로는 10억 명 이상이 한 가지 이상의 중증·경증 장애 보유(WHO)⁵⁾

1) 인간 증강(Human Augmentation) 또는 인간 증진(Human Enhancement)의 개념은 인간의 신체 능력뿐만 아니라 인지, 정서 능력까지 통상의 범위 이상으로 향상시키는 기술을 의미함, 본고에서는 뇌 공학 등 인지 증강 항목을 제외한 신체 능력 증강에 초점을 맞추어 ‘인체 증강(Human body Augmentation)’ 기계를 다루고 있음

2) 정선화, 최병철, ‘휴먼증강 기술 주요 동향과 R&D 시사점’, 한국전자통신연구원 Insight Report, 2019. 6.

3) MarketsandMarkets, Human Augmentation Market: Global Forecast to 2024, 2019. 자료 재구성

4) 보건복지부, 2020년 장애인 실태조사 결과발표, 2021. 4.

5) World Health Organization, Fact sheets-Disability and health, 2020. 12.

- 또한 우리나라는 생산 가능인구가 감소하는 반면 고령인구는 증가하고 있어, 2067년에는 고령인구 비중(46.5%)이 생산 가능인구 비중(45.4%)을 추월할 전망⁶⁾
- 인체 증강 기계는 장애인·노약자의 신체적 불편함을 개선하여 삶의 질을 높이고, 생산 활동 참여에 기여할 수 있는 차세대 기술
- 물류, 건설, 돌봄, 국방, 의료, 안전 등 다양한 산업의 생산성 향상에 기여
 - 택배·건설·돌봄 등 특정 움직임을 반복하는 노동자의 신체활동 보조, 군인의 근력 증강을 통한 국방력 제고 등
 - 인체 증강 기계기술을 일반인을 대상으로 하는 보편적 기술로 활용하여 산업 생산성 향상 도모
- 과학기술정보통신부는 「대한민국 과학기술 미래전략 2045」에서 과학기술 도전과제 8개 중 하나로 '인체 증강' 분야를 선정(2020년)⁷⁾
 - 도전과제: 인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장
 - 기술개발 방향 제안: 장애와 노화를 극복하는 신체적 능력 회복 및 극대화, 인공지능 알고리즘·하드웨어 고도화로 지적 능력 향상
- 본고에서는 인체 기능을 모사하여 인체에 적용하는 기계를 분석
 - 인체 증강 기계는 기준에 따라 아래와 같이 분류할 수 있음
 - (적용 형태) 착용형, 부착형, 삽입형
 - (활용 목적⁸⁾) 인체 기능 보조용, 인체 기능 증강용
 - (모사 대상) 감각 모사, 동작 모사, 인지 모사 등
 - 특히 '적용형태'에 따른 인체 증강 기계를 중심으로 분석을 수행하고, 국내외 현황과 더불어 관련 미래상을 제시하고자 함

6) 통계청, 장래인구 특별 추계(2017~2067년), 2019. 3.

7) 과학기술정보통신부, 대한민국 과학기술 미래전략 2045, 미래를 향한 도전과제와 과학기술정책의 전환, 2020. 10.

8) 인체 기능 대체용, 인체 기능 부가용으로 구분하기도 함

2. 인체 증강 기계 유형

- 각종 의수·의족, 인공 장기, 인공 눈, 인공 혈관 등 여러 종류의 인체 증강 기계가 있으나, 본고는 착용형·부착형·삽입형 유형별로 대표 사례를 분석하였음⁹⁾
 - 실존하는 신체 부위에 적용하여 보조·증강의 기능을 수행하는 경우 착용형 기계로, 망실·손상된 신체 부위를 대체하는 경우 부착형 기계로, 인체 내부에 삽입되어 기능을 수행하는 경우 삽입형으로 구분
 - 인체의 기능을 대체·복원하는 경우에는 보조용으로, 인체의 본래 기능을 초월하여 더 좋은 기능이 부여되는 경우에는 증강용으로 구분
 - * 기술의 발전에 따라 보조(abnormal → normal)와 증강(normal → supernormal)의 개념은 점차 모호해질 것으로 전망
 - 착용형·부착형 기계의 경우 보조와 증강의 두 가지 목적으로 모두 활용이 가능한 경향을 보임

<표 1> 인체 증강 기계의 유형

구 분	인체 증강 기계	모사 대상	활용 목적
착용형	외골격 로봇	▪ 인체의 근력 및 움직임	보조용, 증강용
	근육 옷감	▪ 근육의 수축과 이완	보조용, 증강용
부착형	인공 피부	▪ 재생이 불가능한 표피와 진피 ▪ 피부 구조, 감각 수용기, 촉각 신호 전달 기작	보조용, 증강용
	로봇 손	▪ 손동작, 손가락의 움직임, 근력, 정밀도, 근전도	보조용, 증강용
삽입형	인공 달팽이관	▪ 달팽이관 내부의 기저막과 부동섬모, 신호 전달	보조용
	인공 심장	▪ 심장의 수축과 이완, 판막과 심근의 기능	보조용
	인공 관절	▪ 무릎, 엉덩이, 팔꿈치, 어깨 등 관절의 기능과 움직임	보조용

9) 인체 증강 기계는 센서/액추에이터 등 기능에 따라 구분하기도 하고 인체 기능 보조/증강, 대체/부가 등 목적에 따라 구분하기도 하나 본고는 적용 형태에 따른 유형을 기준으로 삼아 작성하였음

□ 착용형 인체 증강 기계

○ 외골격 로봇

- (정의) 장애인·노약자 및 노동자의 근력 보조, 군사 근력 증강 등을 목적으로 팔, 다리 등 인체에 착용하여 착용자의 의도를 기반으로 더욱 강력한 근지구력과 고하중·고기동성의 움직임을 지원해 주는 장치
- (분류) ▲목적에 따라 국방용/민수용*(치료·재활·노동 등) 또는 보조용/증강용으로 구분 ▲부위에 따라 상체용/하체용 등으로 구분

* 국방용: 병사의 기동·화력 능력 증강, 지속적 전투능력 극대화 측면을 고려¹⁰⁾

민수용: 반복적이고 단순한 작업을 보조하는 형태, 고신뢰성을 확보하는 방향으로 개발



<그림 1> Raytheon社 외골격 로봇 XOS 2¹¹⁾

<그림 2> Noonee社 Chairless Chair¹²⁾

○ 근육 옷감

- (정의) 머리카락보다 가는 형상기억 합금에 전류를 흐르게 하여 인체의 근육처럼 수축·이완을 반복하는 방식으로 착용자의 근력을 보조할 수 있는 인공 섬유
- (특징) 섬유형태로 가공, 가볍고 유연하여 착용자의 불편함을 최소화할 수 있어 기존 웨어러블 로봇의 한계를 극복하는 차세대 기술¹³⁾
 - * 근육 옷감으로 만든 의복을 필요에 따라 입고 벗을 수 있다는 점에서 착용형 기계(일종의 소프트 웨어러블 로봇)로 볼 수 있음
 - * 직조 근육 옷감을 신체 부위에 붙여서 사용할 수 있다는 점에서 부착형 기계로도 볼 수 있음
- (활용) 택배·돌봄 등 착용자의 근력이 반복적으로 필요한 노동, 장애인·노약자의 약화된 기능 보조, 환자의 재활훈련 등의 분야에서 평소에는 일상복처럼 편하게 착용하면서 필요시 근력 보조를 받아 활용

10) 임종광, 장교근, 김홍철, '외골격 로봇 개발 동향', 제어로봇시스템학회 합동학술대회, 2012. 7. 재구성

11) Army Technology, 'Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit', 2020. 5.

12) AUDI 제조 현장에서 사용되고 있는 스위스 Noonee사의 체어리스 체어(출처: AUDI)

13) 이준석, 박철훈, '웨어러블 로봇의 기술 동향과 산업 전망', KEIT PD Issue Report, 2020. 3.



<그림 5> 근육 옷감(착용형)



<그림 6> 근육 옷감(부착형)

□ 부착형 인체 증강 기계

○ 인공 피부¹⁴⁾

- (정의) 화상, 외상, 피부 질환 등으로 인해 손상된 조직을 보호·대체하거나, 온도·압력 등을 느낄 수 있도록 실제 피부와 유사하게 만들어진 인공 소재
- (분류) 창상피복재, 배양피부, 피부형 센서 등으로 구분
 - * 창상피복재(Wound Dressing): 일시적으로 피부의 기능을 대신하는 용도, 창상치료 중 일시적으로 환부를 보호하거나 염증을 수반하는 흉터를 최소화하여 피부 재생을 도움
 - * 배양피부(Cultured Skin): 영구 생착 용도, 세포 배양 기술을 활용하여 동종 혹은 자가 배양 피부를 증식시켜 활용하는 방식, 크기 조절이 가능하지만 고비용·저생착률의 단점이 있음
 - * 피부형 센서: 진동, 압력, 온/냉감, 표면 거칠기, 미끄럼, 형상 등의 감지를 통해 물체 조작 및 모양 인지 등 사람과 유사한 수준의 피부 감지 기능을 갖는 고성능 센서 집합체, 절단 환자 등을 위한 바이오닉 암(Bionic Arm)에 적용 가능
- (특징) ▲인공 피부는 인체뿐만 아니라 화장품 개발, 독성실험, 바이오 소재의 안전성 평가, 기초 생물학 연구 등에도 활용¹⁵⁾ ▲피부형 센서는 보건의료, 로봇, 국방 등 다양한 산업에 적용될 수 있으며, 신경이 마비되거나 둔화된 고령자·장애인의 감각 보조 수단으로 활용 가능



<그림 7> Massachusetts General Hospital의 인공 피부¹⁶⁾



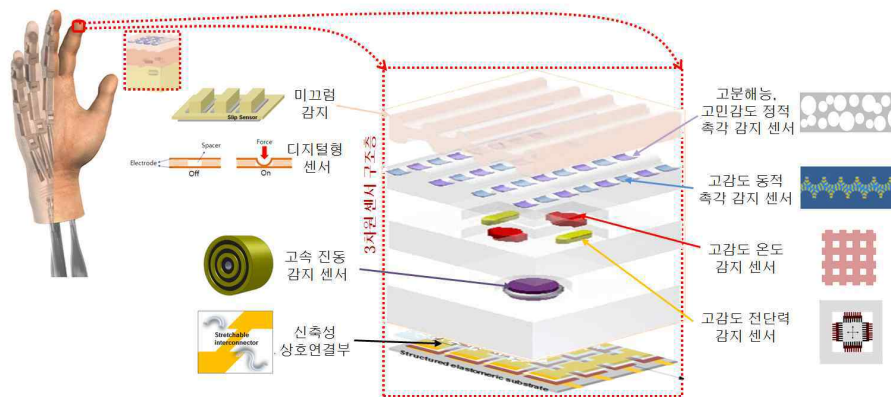
<그림 8> 의료용 인공 피부¹⁷⁾

14) 한국과학기술정보연구원, '인공 피부', 2002. 12.

15) 장성재, '3차원 피부 모델의 최신 연구개발 동향', BRIC View 동향리포트, 2019. 8.

16) Tech Explorist, 'Artificial skin that could temporarily tighten the skin', 2016. 5.

17) Textile Learner, 'Artificial Skin: Characteristics, Raw Materials and Uses', 2018. 8.



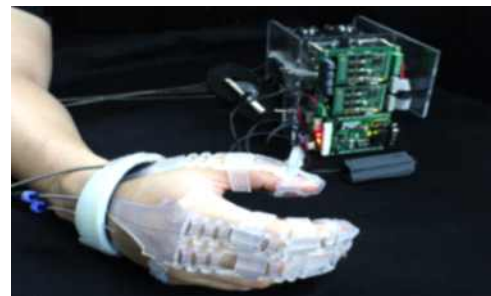
<그림 9> 한국기계연구원의 피부형 3차원 센서 집합체

○ 로봇 손(로봇 의수)

- (정의) 질병·사고로 인해 기능이 약화되거나 상실된 손에 착용하여 신경 전달, 굽히고 펴는 동작 등을 보조·증강하는 장치
- (분류) ▲형태에 따라 로봇 의수/외골격형 로봇 손/소프트 웨어러블 로봇 손 등으로 구분 ▲목적에 따라 보조용/증강용으로 구분
- (특징) ▲로봇 의수의 경우 잔존 근육에서 발생하는 전기신호를 분석하여 절단 환자(착용자)가 원하는 손동작으로 제어 가능 ▲소프트 웨어러블 로봇 손의 경우 외부 힘줄(Exo-tendon)이나 공기주머니(Bladder)를 통해 움직임을 만들어 냄



<그림 3> 로봇의수



<그림 4> 소프트 웨어러블 로봇 손¹⁸⁾

□ 삽입형 인체 증강 기계

○ 인공 달팽이관(인공 와우)¹⁹⁾

- (정의) 달팽이관(와우)의 손상으로 전혀 듣지 못하는 환자에게 남아있는 청신경을 자극함으로써 소리를 들을 수 있게 해주는 미세한 기계장치
- * 난청의 유형과 정도에 따라 인공 와우 이외에도 중이 임플란트, 골전도 임플란트 등 활용 가능

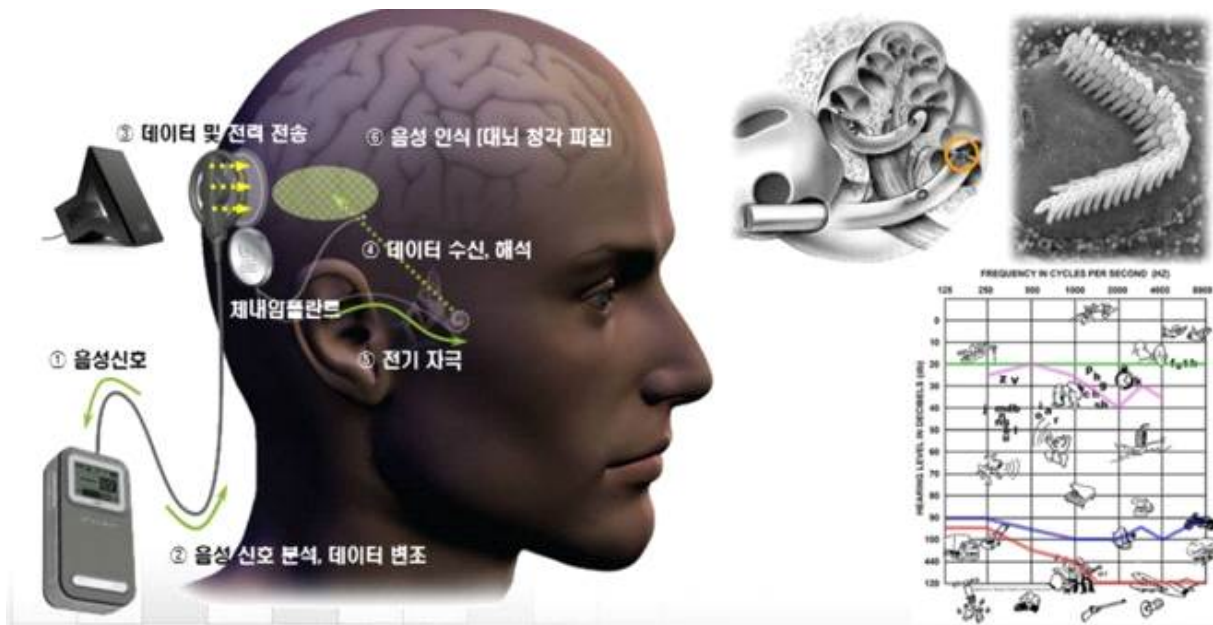
18) B. B. Kang et. al. 'Development of a Polymer-Based Tendon-Driven Wearable Robotic Hand', IEEE Conf. on Robotics and Automation, May 2016.

19) 김찬호, '인공 와우', KISTi Market Report, 2015. 10.

- (특징) 소리를 전기신호로 변환하는 어음처리기와 받은 신호를 청신경에 전달하는 이식체*로 구성됨, 소리를 증폭하여 들을 수 있도록 도와주는 보청기와 달리 중증 감각신경성 난청**은 보청기를 사용해도 청력 회복이 거의 불가능

* 이식체의 전선을 달팽이관으로 삽입하여 남아있는 청신경과 연결하여 소리를 전달

** 청신경이나 청감각세포가 손상되어 소리를 들을 수 없는 난청



<그림 10> 인공 와우 장치의 원리 및 구성²⁰⁾

○ 인공 심장

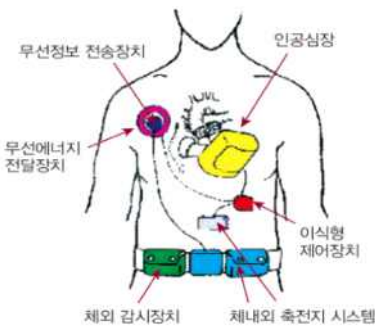
- (정의) 심혈관, 심근 등 심장에 이상이 생긴 환자의 정상적인 심장 박동을 유지할 수 있도록 기계적으로 도움을 주는 장치
- (특징) 의학을 기반으로 기계공학, 유체 물리학, 전자공학, 재료공학 등 다양한 분야의 기술이 융합된 장치로 바이오 기계 산업을 대표

- (분류) ▲대체 부위에 따라 완전치환형 인공 심장/심실보조장치*로 구분 ▲세대별로는 신체 외부에 장착하는 1세대/신체 내부에 장착하는 박동형 2세대/신체 내부에 장착하는 비박동형 3세대** 심실보조장치로 구분

* 완전치환형 인공 심장(TAH, Total Artificial Heart): 심장 전체의 기능을 대체
 심실보조장치(VAD, Ventricular Assist Device): 부분적으로 심장 기능을 대체, 세부적으로는 좌심실보조장치(LVAD, Left Ventricular Assist Device), 우심실 보조장치(RVAD, Right Ventricular Assist Device), 양심실 보조장치(BVAD, Bi-Ventricular Assist Device)로 분류

** 3세대 인공 심장은 2020년 8월 삼성서울병원에서 국내 첫 시술됨

20) 동아사이언스, '청각장애 없앨 인공 와우', 2015. 1.



<그림 11> 인공 심장 및 부속장치²¹⁾



<그림 12> 인공 심장(런던과학박물관 전시)²²⁾

○ 인공 관절

- (정의) 정상 관절과 비슷한 마찰력과 모양 및 기능을 갖춘 인공보철물로 퇴행성 관절염, 류머티즘 관절염, 외상, 노인 골절 등으로 손상된 관절 내에 삽입하여 관절의 원래 기능을 복원할 수 있는 의료기기²³⁾
 - * 1962년 영국의 정형외과 의사인 존 찬리(John Charnley)에 의하여 최초 고안, 부드럽게 움직이는 관절의 기능을 복원하는 동시에 마모를 늦추는 HMWP(High Molecular Weight Polyethylene, 고분자량 폴리에틸렌)를 개발하여 인공 관절로 활용²⁴⁾
- (분류) 부위에 따라 발목, 팔꿈치, 손가락, 엉덩이, 무릎, 어깨, 발가락, 손목, 안면아래턱, 측두 하악골 인공 관절 등으로 분류
- (특징) 최근 지르코늄 등 세라믹 소재를 활용하여 15~20년 활용 가능한 인공 관절 개발 중, 내마모성이 뛰어나지만 마모가 일어나면 주변의 뼈를 심하게 손상시키는 기존 폴리에틸렌 소재의 단점 극복



<그림 13> 인공 관절(고관절)²⁵⁾



<그림 14> 인공 관절(무릎 관절)²⁶⁾

21) 산업연구원, '미래 의료기기산업의 중심, 인공 심장', 산업연구원, 2013. 12.

22) Rick Proser, 'An image of an artificial heart exhibited at London science museum', 2008. 12.

23) 의료기기화장품산업단, '인공관절', 보건산업브리프 의료기기품목시장통계 Vol.55, 2017. 12.

24) 헬스조선, '인공 관절은 무엇으로 만드는가?', 2021. 7.

25) 예손병원, 고관절 인공관절, 2021. 7., <https://www.yesonhospital.com/>

26) 연세바로치병원, 무릎 인공관절 치환술, 2021. 7., <http://www.ysbarochuk.com/>

3. 인체 증강 기계 산업 동향

가. 주요국의 정책 동향

□ 미국

- 로보틱스 로드맵(2020년)에서 휴먼 증강 기술의 전략적 투자정책 수립²⁷⁾
 - BCI(Brain-Computer Interface) 기반 인간-로봇 상호작용 연구
 - 고령자 대상 근력증강, 생활지원 등 인체 증강 관련 연구 추진
- 방위고등연구계획국(DARPA²⁸⁾), 국립보건원(NIH²⁹⁾)은 대학·기업과 협력하여 휴먼 증강 관련 기술개발 정책 및 상용화 지원
 - 군사용도 외에 의료/재활, 노약자 지원 등 다양한 목적으로 활용 추진

□ 유럽

- 유럽 전략연구 어젠다의 로보틱스 2020 로드맵(Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap)에서 휴먼 증강 분야 투자 정책 수립³⁰⁾
 - 고령화 사회에 대응하여 고령자의 신체·정신 건강을 증진하는 휴먼 증강 연구, 뇌·생체신호 기반 재활로봇 연구 추진
- 생체 공학 보조 장치를 통한 장애인의 생활 불편함을 최소화하는 것을 취지로 로봇 올림픽 Cybathlon* 개최(2016, 2020년)³¹⁾
 - * 인조인간을 뜻하는 사이보그(Cyborg)와 경기를 뜻하는 라틴어 애슬론(Athlon)이 합쳐진 단어
 - 재활 로봇 기술의 발전을 목적으로 스위스 취리히 연방 공과대학교 후원
 - 강화 외골격 경주, 의수 경기, 의족 경기, 전동 휠체어 경주, 뇌파를 이용한 장애물 경주, 전기 자극을 이용한 자전거 경주 대회를 진행하며, 독자적으로 활동하는 로봇이 아닌 인간의 능력을 보조하는 로봇을 대상으로 함

27) 한국과학기술기획평가원, '디지털 휴먼증강 미래 유망 기술·서비스', KISTEP 미래예측 브리프, 2020. 4.

28) 방위고등연구계획국(DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency): 미국 국방성 산하 핵심 연구개발 조직, 각종 프로젝트를 관리·감독하며, 실패 리스크가 높긴 하지만 성공할 경우 기존 군사력의 역할과 임무를 획기적으로 발전시킬 수 있는 연구와 기술 프로젝트를 추진하는 역할 수행

29) 국립보건원(NIH, National Institutes of Health): 남녀노소의 건강을 비롯하여 건강과 생활양식 등에 대한 연구와 연구 지원을 주목적으로 1887년 설립된 미국의 국립의학연구기관

30) GT 심층분석보고서, '유럽 로보틱스 전략 연구 어젠다 (2020)', 2016. 11.

31) CYBATHLON of ETH Zurich, 2021.7., <https://www.cybathlon.com>.

□ 일본

- Society 5.0(2016년)에서 인간 능력 확장을 핵심과제로 설정
 - 성장전략 로드맵(2017년)에서 로봇·센서 기술의 강점을 활용한 고령화 등의 사회문제 해결을 위한 주요 전략 제시³²⁾, ‘인간 확장 연구 센터’ 개설(2018년)
 - 노령인구 증가에 따른 국가 경쟁력 유지를 위해 건강수명 연장·이동 혁명 실현 등 5대 전략분야 수립, 평생 현역 사회 수립을 위한 로봇·보건 분야의 추진전략 수립
 - 로봇/기계 분야에서 자국의 강점(산업용 로봇 세계 시장 점유율 56.5%, 공작기계 세계시장 점유율 20.6%, 공장 제어장치 세계 1위 등)을 활용하여 사회적 문제를 해결하려는 노력³³⁾
- ICT·로봇 기술 융합을 통한 노인과 장애인 대상 생활지원 로봇 프로젝트, 인간 중심 ICT 융합을 지향하는 ‘감성 R&D’ 추진³⁴⁾

□ 중국

- 2010년대 초반에는 산업용 로봇 개발에 초점을 맞추었으나 후반기 들어 의료 서비스, 가정용 로봇 산업 육성을 위한 정책 발표
 - ‘제13차 5개년 계획(十三五, 2016~2020년)’에서 10대 중점 육성 분야에 의료 기계 산업 선정, 프리미엄 의료기계·중저가 의료기계·가정용 의료기계 등에 전략적 투자³⁵⁾
 - 차세대 인공지능 촉진 3개년 행동 계획(2017년)에서 의료재활, 노인 및 장애인 보조 등 분야로 로봇 서비스 투자 확대 발표³⁶⁾

32) IBK 경제연구소, ‘아베의 성장로드맵 <Society 5.0>과 시사점’, 2018. 4.

33) 戦略分野の検討「スマートに生み出す、スマートに手に入れる」, 2016. 11.

34) 한국과학기술기획평가원, ‘디지털 휴먼증강 미래 유망 기술·서비스’, KISTEP 미래예측 브리프, 2020. 4.

35) 대한무역투자진흥공사, ‘중국 의료기계산업 발전 현황’, 2016. 7.

36) 대한무역투자진흥공사, ‘중국 로봇산업’, 2019. 10.

□ 한국

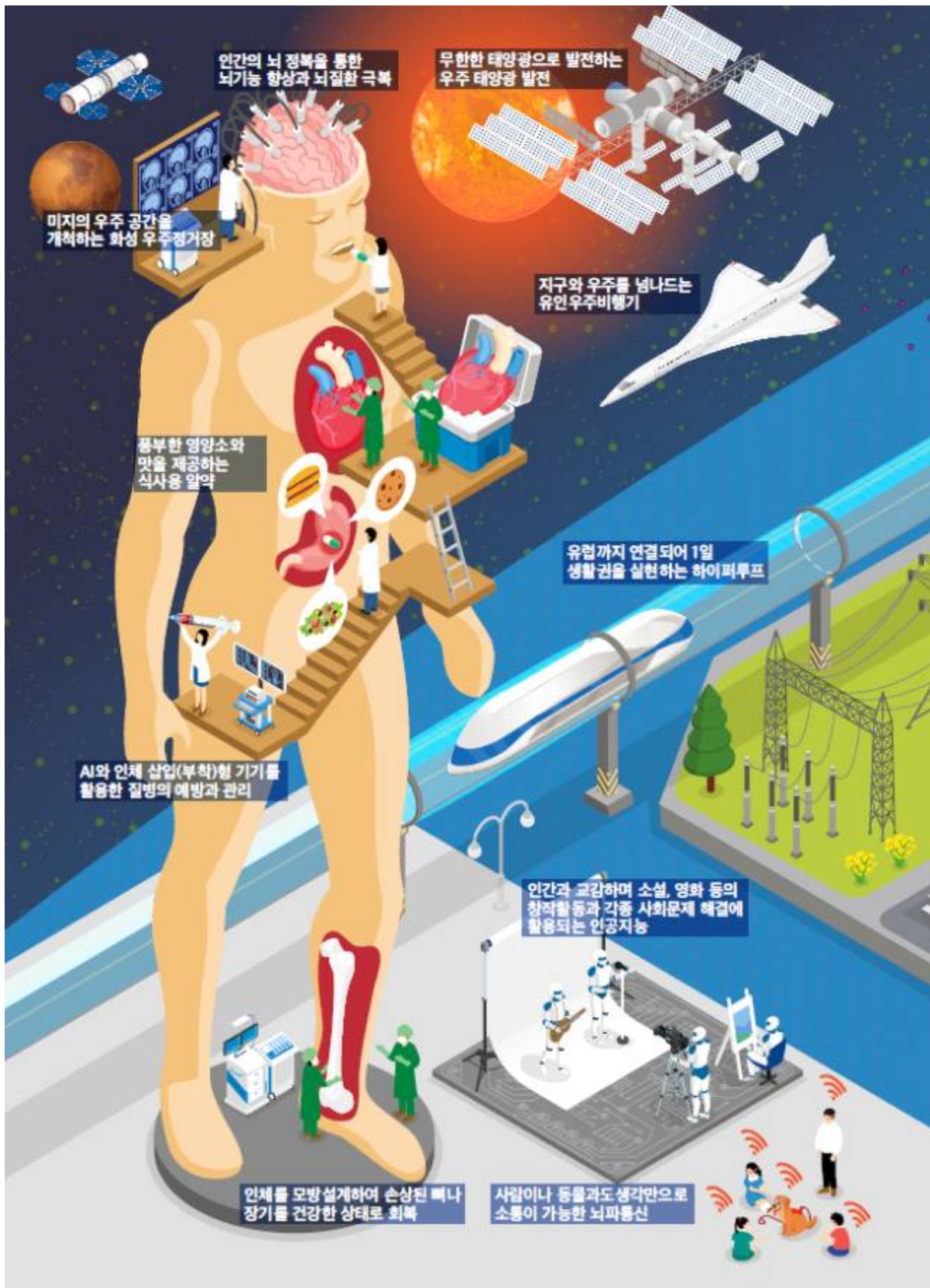
- “대한민국 과학기술 미래전략 2045³⁷⁾”에서 과학기술 도전 과제 중 하나로 휴먼 증강 분야 선정(2020년)
 - 안전하고 건강한 사회, 풍요롭고 편리한 미래사회(2045년) 실현을 위한 과학기술 발전 전략에 대한 8대 도전과제³⁸⁾ 중 하나로 ‘인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장’ 분야 선정
 - 장애·노화 극복과 삶과 인구 고령화에 따른 노동생산성 유지를 위해 인체에 부착·착용·삽입하는 증강 장비·로봇 등에 대한 전략, 인공장기·조직·뼈 등 인체 모방 설계기술로 신체능력을 보완·확장 전략 등 수립

〈표 2〉 인체 증강 관련 기계/로봇 주요국 정책 동향

주요국	정책명	목적	주요 내용
미국	로보틱스 로드맵 (U.S. Robotics Roadmap)	<ul style="list-style-type: none"> 고령화 사회 대응 및 바이오 기계 산업 육성 	<ul style="list-style-type: none"> 인간-로봇 상호작용을 통하여 고령자 대상 근력 증강, 생활 지원 등 로봇 연구 추진
유럽	Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap	<ul style="list-style-type: none"> 고령화 사회에 대응하여 고령자의 신체·정신 건강을 증진 	<ul style="list-style-type: none"> 휴먼 증강 연구 등 EU의 현황 분석 및 미래 R&D 투자 전략 수립
일본	Society 5.0	<ul style="list-style-type: none"> 고령화 등 사회적 문제 해결 	<ul style="list-style-type: none"> 평생 현역 사회 수립을 위한 로봇, 보건 등 분야 추진 전략 수립
중국	제13차 5개년 계획, 차세대 인공지능 촉진 3개년 행동 계획	<ul style="list-style-type: none"> 사회보험, 건강, 양로, 출산 등 4대 영역에 대한 심층 개혁과 국민 건강 의식 제고 및 노령화 대비 	<ul style="list-style-type: none"> 의료재활, 노인 및 장애인 보조 등 로봇 서비스 투자 확대
한국	대한민국 과학기술 미래전략 2045	<ul style="list-style-type: none"> 안전하고 건강한 사회, 풍요롭고 편리한 사회 등을 실현 	<ul style="list-style-type: none"> 신체 증강 장비·로봇, 인체 모방 설계 기술 집중 투자

37) 과학기술정보통신부, ‘대한민국 과학기술 미래전략 2045 미래를 향한 도전과제와 과학기술정책의 전환’, 2020. 10.

38) ① 기후변화, 재난재해, 감염병 등 인류의 생존을 위협하는 요인에 대처 ② 환경오염 대응을 통한 문명의 지속 가능성 확보 ③ 차세대 바이오·의료 기술을 통한 건강한 삶 실현 ④ 인간의 신체적·지적 능력 보완 및 확장 ⑤ 자원 고갈에 대비한 농업·제조업·에너지 혁신 ⑥ 우주 생활권 및 안전하고 편리한 이동 실현 ⑦ 다양한 소통 방식과 신뢰할 수 있는 네트워크 확보 ⑧ 새로운 삶의 영역을 확보하기 위한 미지의 공간 개척



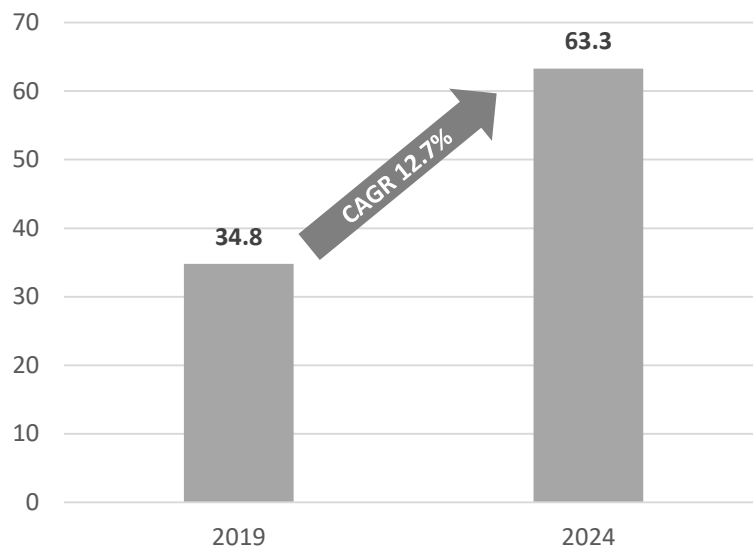
<그림 15> 과학기술로 실현될 2045년 미래 모습³⁹⁾

39) 과학기술정보통신부, '과학기술로 준비하는 2045년 대한민국의 미래', 2020. 8.

나. 시장 동향 및 전망

□ 세계 인체 증강 기계 시장 동향

- 세계 인체 증강 기계 시장은 2019년 약 340억 달러 규모이며, 2024년까지 연평균 12.7% 성장하여 약 630억 달러 규모로 성장할 것으로 전망(CAGR (2019-2024) 12.7%)
- 고령 인구 증가, 헬스케어에 대한 관심 증가, 인공지능 도입, 센서 소형화 등으로 인해 인체 증강 시장 확대 가속화 예측



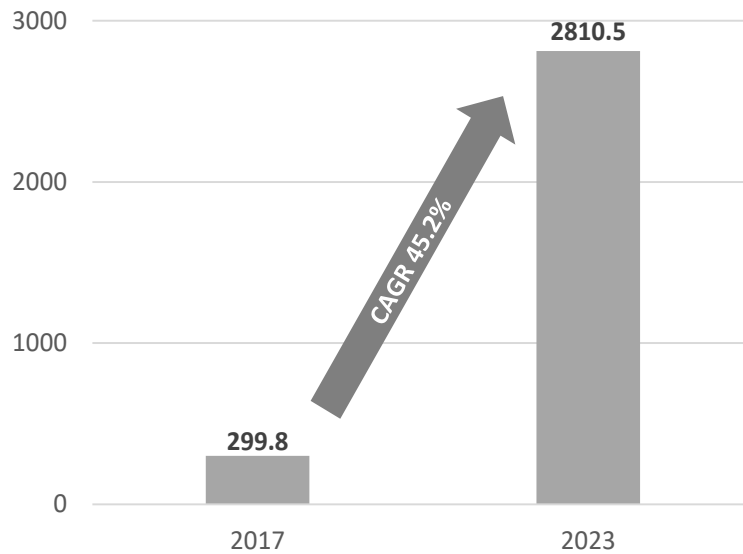
<그림 16> 세계 인체 증강 시장 규모⁴⁰⁾(십억 달러)

□ 인체 증강 기계 장치별 세계 시장 동향

○ 외골격 로봇 시장 동향

- 세계 외골격 로봇 시장은 2017년 약 3억 달러 규모이며, 2023년까지 연평균 45.2% 성장하여 약 28억 달러 규모로 성장할 것으로 전망(CAGR(2017-2024) 45.2%)
- 재활 등 헬스케어를 비롯하여 산업 생산성 증가, 국방력 강화 등 여러 분야에서 외골격 로봇에 대한 관심이 증가하고 있으며 로봇 기술이 발전함에 따라 가파른 성장세를 유지할 전망

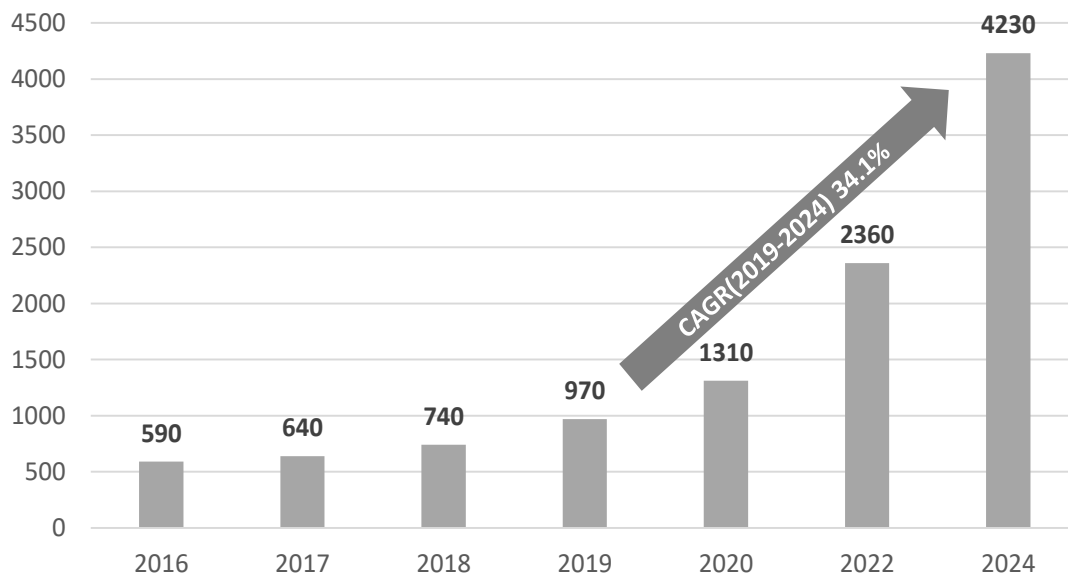
40) MarketsandMarkets, Human Augmentation Market: Global Forecast to 2024, 2019. (자료 재구성)



<그림 17> 세계 외골격 로봇 시장 규모(백만 달러)⁴¹⁾

○ 옷감형 웨어러블 로봇 시장 동향

- 근육 옷감 등 옷감형 웨어러블 로봇 시장 규모는 2019년 970백만 달러 규모이며 2024년까지 연평균 34.1% 성장하여 약 4,230백만 달러 규모로 성장할 것으로 전망(CAGR(2019-2024) 34.1%)



<그림 18> 세계 옷감형 웨어러블 로봇 시장 규모(백만 달러)⁴²⁾

41) MarketsandMarkets, Exoskeleton Market: Global Forecast to 2023, 2017. (자료 재구성)

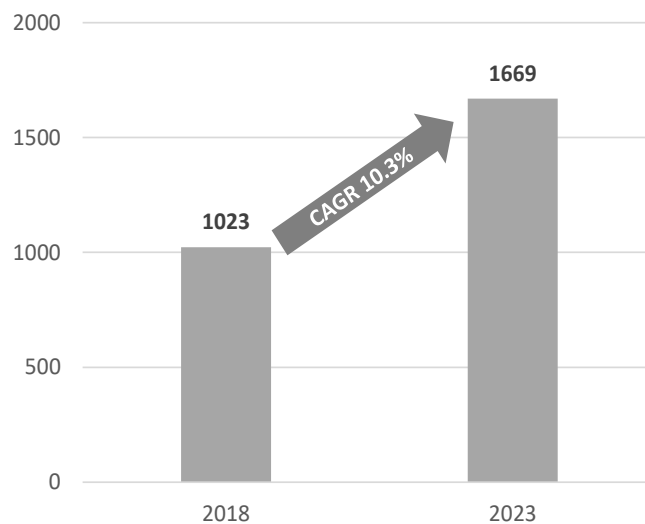
42) MarketsandMarkets, Human Augmentation Market: Global Forecast to 2024, 2019. (자료 재구성)

○ 인공 피부 시장 동향

- 인공 피부를 포함한 생물학적 피부 대체물 시장 규모는 2018년 약 10.2억 달러 규모이며, 2023년까지 연평균 10.3% 성장하여 약 16.7억 달러 규모로 성장할 것으로 전망(CAGR(2018-2023) 10.3%)

〈표 3〉 세계 피부 대체품 시장 규모(백만 달러)⁴³⁾

종류	2016	2017	2018	2023	CAGR (2018-2023)
Human Donor Tissue-derived Products	435	531.9	591.9	1004.6	11.2%
Acellular Animal-derived Products	274.5	331.2	363.6	577.3	9.7%
Biosynthetic Products	55.2	64	67.4	87.1	5.3%
Total	764.7	927.1	1022.9	1669	10.3%

〈그림 19〉 세계 피부 대체품 시장 규모(백만 달러)⁴⁴⁾

○ 인공 달팽이관(인공 와우) 시장 동향

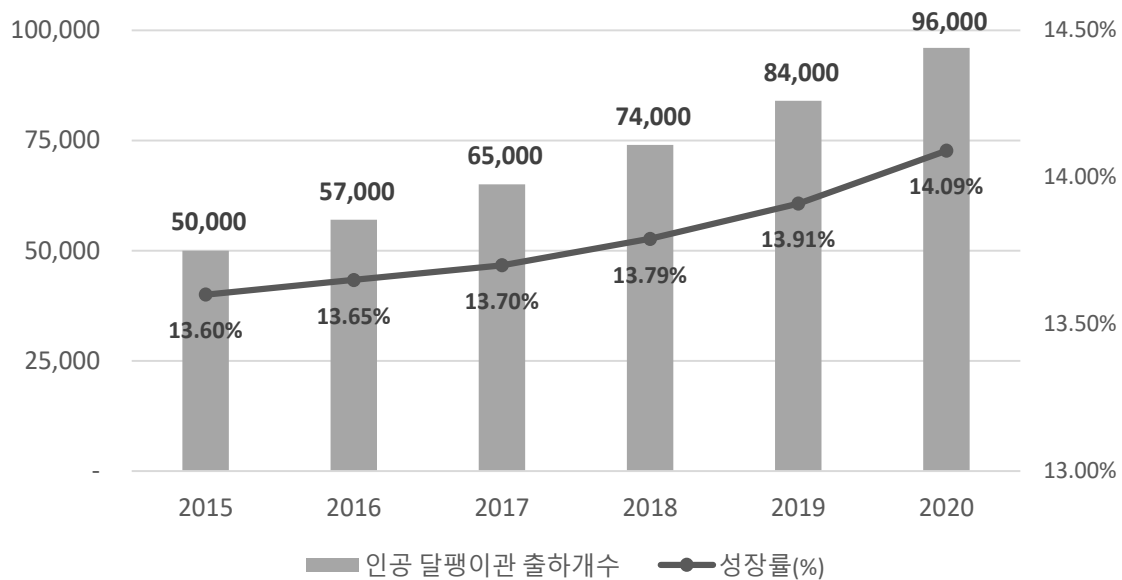
- WHO는 세계 청각 보고서(2020)에서 2050년까지 전 세계 인구의 4명 중 1명인 20~25억 명이 청력 손실을 경험하게 될 것이라고 경고⁴⁵⁾

43) 전게서

44) MarketsandMarkets, Wound Care Biologics Market; Global Forecast to 2023, 2018. (자료 재구성)

45) 건강검진 뉴스, '2050년까지 전 세계 인구 4명 중 1명 청력 손실 경험', 2021. 3.

- 인공 달팽이관을 필요로 하는 난청환자들이 지속적으로 증가함에 따라 관련 시장이 매년 10% 이상 증가 중



<그림 20> 세계 인공 달팽이관 시장 규모⁴⁶⁾

- 고령인구 및 청력손실 환자 증가로 인해 난청 보조(Hearing Aids) 기계 시장 규모는 2017년 약 70억 달러에서 2022년 약 98억 달러 수준으로 증가할 것으로 전망(CAGR(2017-2022) 7.0%)



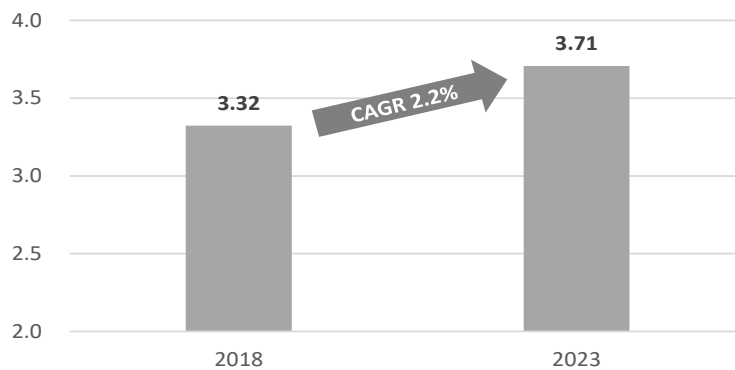
<그림 21> 세계 난청 보조기계 시장규모(십억 달러)⁴⁷⁾

46) Technavio, 'The Number of Cochlear Implants Shipped Worldwide is Expected to Hit 96,000 by 2020', 2016. 2. (자료 재구성)

47) MarketsandMarkets, Hearing Aids Market: Forecast to 2022, 2017. (자료 재구성)

○ 인공 심장 시장 동향

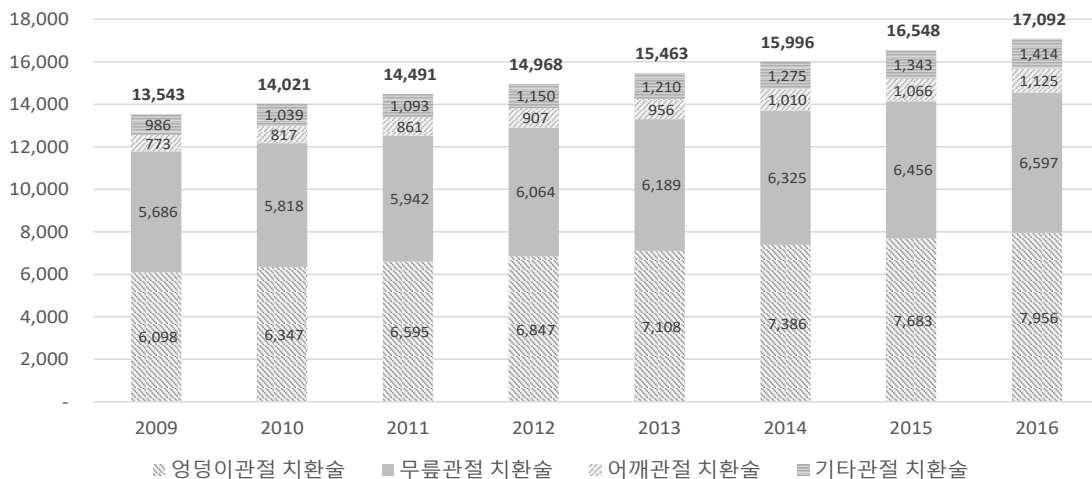
- 삽입형 인공 심장 박동기 시장은 심혈관 질환의 유병률 증가와 의료기기 기술 발전에 따라 2018년 33억 달러에서 2023년 37억 달러에 달할 전망(CAGR (2018-2023) 2.2%)
- 인체 삽입형 의료기기 시장에서 최대 점유율을 보이고 있으며 노령 인구 증가, 의료비 지출 증가 등으로 인해 당분간 높은 시장 점유율을 유지할 전망



<그림 22> 세계 인공 심장 박동기 시장 규모(십억 달러)⁴⁸⁾

○ 인공 관절 시장 동향

- 세계 인공 관절 시장규모는 2016년 171억 달러로 추정되며, 2023년에는 217억 달러 규모로 성장할 것으로 전망



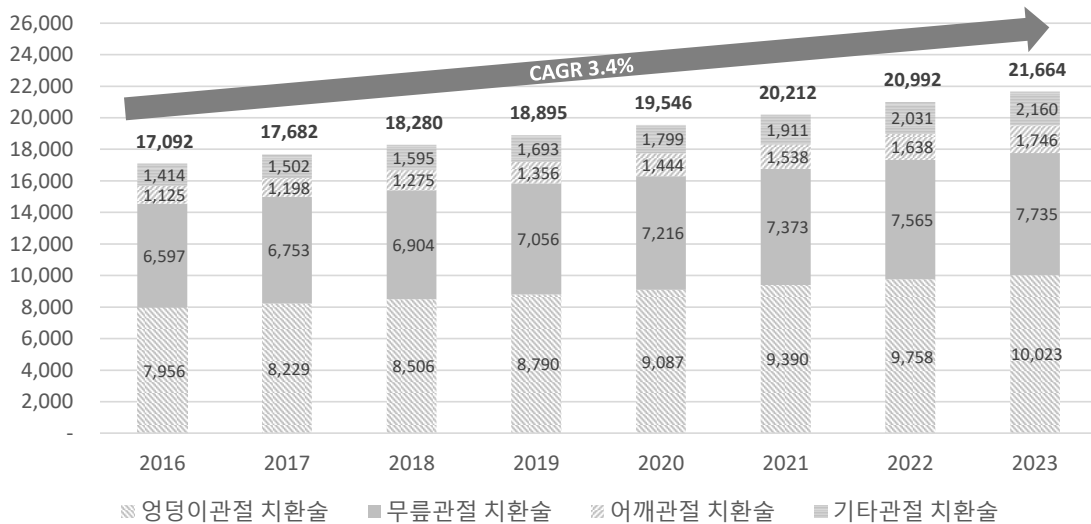
<그림 23> 세계 인공 관절 시장 규모(백만 달러)⁴⁹⁾

48) MarketsandMarkets, Pacemaker Market: Forecast to 2023, 2018. (자료 재구성)

49) 한국보건산업진흥원 보건산업브리프 의료기기시장통계, '인공 관절', 2017. 12. (자료 재구성)

Orthopedic Devices [Hip, Knee, Shoulder, Other Joint Reconstruction] Market, Global, 2009-2016, USD Constant Millions, Global Data

- 전 세계적 추세인 인구 고령화 및 스포츠 산업 발전에 따른 외상 발생 등이 증가함에 따라 인공 관절 시장은 연평균 3.4% 수준의 성장이 지속될 것으로 전망



<그림 24> 세계 인공 관절 시장 규모 예측(백만 달러)⁵⁰⁾

다. 국내외 주요기관 동향

□ 외골격 로봇

○ 국내

- 한양대에서는 하지뿐만 아니라 상지의 특정 관절의 근력 지원을 위한 외골격 로봇에 대한 연구를 수행하고 있으며 한국생산기술연구원, 현대로템 등 다양한 업체에서도 연구개발을 수행 중⁵¹⁾
- LG 전자는 제조업, 건설업 등 산업현장 및 일상생활에서 활용할 수 있는 하체 근력 지원용 외골격 로봇인 LG CLOi SuitBot을 개발, 인공지능 기술을 적용하여 보다 효율적이고 안전한 작업 수행 도모
- 현대로템은 신체의 특정 관절에만 근력을 지원하는 산업용 모듈형 웨어러블 로봇 RMX(Rotem Modular eXoskeleton)을 개발, 많은 산업 재해가 발생하는 현장 작업자의 신체 부위를 분석하여 허리나 무릎에 가해지는 부담을 경감
- 선진국 대비 연구경험·시장규모·자금 등이 부족하지만, 인간-로봇 상호작용을 기반의 지속적인 연구를 통한 신산업 창출 및 세계시장 진입 기대

50) 전계서 자료 재구성

51) 장재호, 송우근, '착용형 로봇의 기술현황', 기계저널, 2016. 2.

- 군사용·산업용·재난/재해 환경용 등 다양한 분야에서 활용을 위해 경량화·생산단가 절감·신뢰성 확보 등 성능 평가 기준 마련 필요



<그림 25> LG전자社 CLOi SuitBot⁵²⁾



<그림 26> 현대로템社 RMX-KI⁵³⁾

○ 국외

- 미국의 방산업체인 Lockheed Martin은 B-termia 사와 협업하여 사용자의 힘과 내구성을 향상하고, 계단 및 경사 등 불규칙한 지형을 횡단하는 능력을 증가시키는 ONYX 등 근력 증강형 외골격을 생산
- 무릎의 부하를 90%까지 낮추고, AI 기반의 제어 보조 시스템을 작동하여 소방, 군수 등 인체 부하가 걸리는 업무보조 가능
- Ford 자동차는 Ekso Bionics Holdings(미국)의 Ekso Vest라는 상체 로봇 슈트를, BMW는 미국 현지 공장에서 상·하체에 착용하는 외골격 로봇을 도입하는 등 제조공장 근로자의 근력 지원 용도로 활용 중



<그림 27> Lockheed Martin社 외골격 ONYX⁵⁴⁾, ⁵⁵⁾



<그림 28> Ekso Vest를 착용한 포드 자동차 생산라인 노동자⁵⁶⁾

52) LG CNS 블로그, '산업현장, 로봇 슈트가 함께 한다', 2018. 8.

53) 현대로템 공식블로그, '현대로템의 웨어러블 로봇', 2017. 6.

54) Lockheed Martin, ONYX, 2021, 7., <https://www.lockheedmartin.com/>

55) Lockheed Martin, Military, 2021, 7., <https://www.lockheedmartin.com/>

56) FORD Media Center, 'EksoVest', 2017. 11.

□ 근육 옷감

○ 국내

- 한국기계연구원은 스프링 형태의 형상기억합금을 옷감 제작과 동일한 방법으로 직조하여 가볍고 부드럽지만 자체 무게의 1,500배를 들어 올릴 수 있는 근육 옷감을 개발
- 머리카락 두께의 절반보다 가는 $40\mu\text{m}$ 굵기의 형상기억합금을 스프링 형태의 실로 만들어 옷감을 짜듯 직조, 실제 옷감처럼 자르거나 접을 수 있으며 신체 부위에 붙이기만 하면 쉽게 근력 보조* 가능
 - * 평소 사용하던 근력의 50% 수준만으로도 유사한 동작이 가능함을 확인
- 한국기계연구원에서 개발한 근육 옷감은 기존의 직조기를 이용한 대량생산이 가능, 국내외 방직 기업 및 헬스케어 기업과 기술이전 협의 진행 중
- 노약자, 장애인 등 사회적 약자 지원뿐만 아니라 소방관, 택배·건설·제조·돌봄 등의 고강도 신체 노동자의 근력을 보조하여 산업 생산성 향상에 기여 가능
- 무겁고 딱딱한 외골격 착용형 로봇에서, 가볍고 부드러운 부착형 소프트 로봇으로 발전하는 추세, 실용화 및 대량 생산 노력 필요



<그림 33> 한국기계연구원 근육 옷감⁵⁷⁾

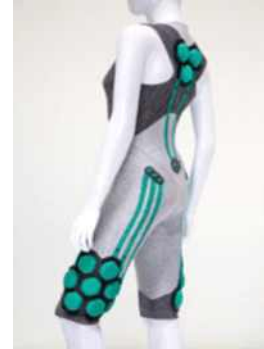
57) 한국기계연구원, '택배·돌봄노동부터 재활훈련까지 힘 필요한 신체 부위 어디든 쉽게 붙여쓰는 근육 옷감 개발', 2021. 4.

○ 국외

- 옷감 형태의 구동기 이외에도 다양한 종류의 소프트 웨어러블 로봇 개발 진행 중



〈그림 34〉 SRI Robotics社 Superflex



〈그림 35〉 Superflex Inc.社 Powered Suit



〈그림 36〉 Harvard Univ.의 ExoSuit



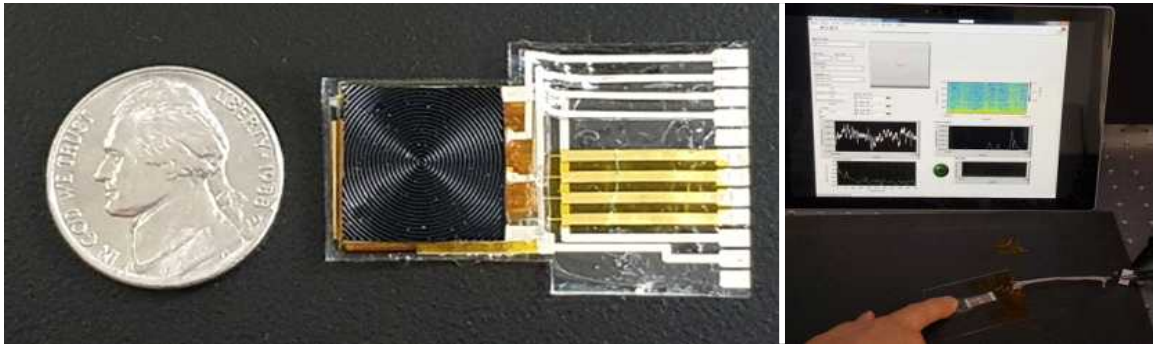
〈그림 37〉 MyosSwiss社 MyoSuit

□ 인공 피부

○ 국내

- 한국기계연구원은 피부 구조 및 감각수용기를 분석하여 하나의 접촉점에 가해지는 수직 압력, 전단력, 미세진동, 온도 등을 인체의 피부 수준의 민감도로 동시에 분리 측정 가능한 생체모사 피부형 시스템 등 각종 유연 촉각센서를 개발
- (주)현대바이오랜드는 의료용 콜라겐과 히알루론산을 원료로 하는 창상피복재 CollaHeal Plus, 2도 이상의 화상이나 욕창 환자를 위한 인공진피 INSUREGRAF을 출시하여 해외 제품과 경쟁 중⁵⁸⁾
- 타 분야에 비하여 아직 시장 규모가 작으며 인체 적용을 위한 인공피부 개발보다는 동물실험 대체 분야의 연구용 시장이 다수를 차지함, 생체적합성·조직재생·미세조직 제어 등 기술 경쟁력 확보 필요

58) 중앙일보, 'SK바이오랜드가 만드는 별별 의료 소재들', 2019. 6.



<그림 38> 한국기계연구원의 생체모사 피부형 센서 3차원 집합체⁵⁹⁾ 소자(좌), 실시간 촉각신호 측정(우)



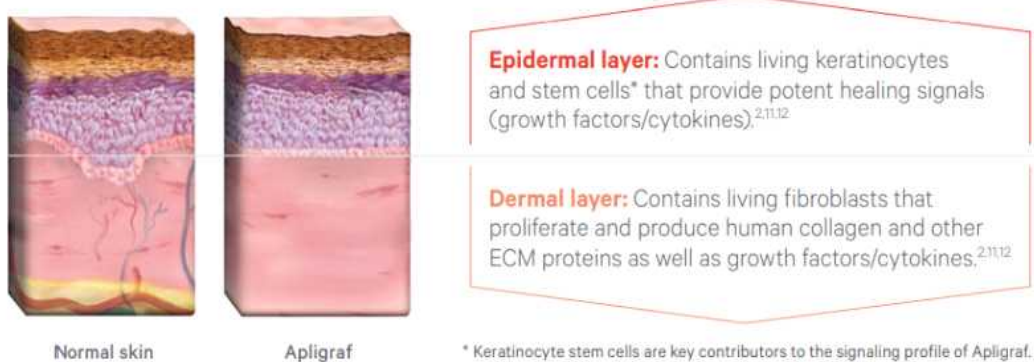
<그림 39> 한국기계연구원의 원격 촉각 감지 센서⁶⁰⁾(손가락 구조에 적용)



<그림 40> 한국기계연구원의 피부형 대면적 센서⁶¹⁾(인조 손바닥에 적용)

○ 국외

- 미국 의료기기 전문 회사인 Organogenesis Holdings는 당뇨병 족부궤양 등의 치료를 위한 피부 대체물 Apligraf, Dermagraft 등을 제조·판매, 각종 궤양 및 상처 치료에서 높은 점유율을 차지



<그림 41> Organogenesis Holdings社 Apligraf⁶²⁾

59) 3차원 유연 전자소자 프린팅 기술이 적용되어 사용 중 쉽게 끊어지지 않으며, 외부 범용 컴퓨터에서 바로 사용 가능하도록 해주는 전자모듈 및 분석 소프트웨어를 개발하여 오실로스코프, LCR 미터 등과 같은 복잡한 실험기기 없이도 활용 가능

60) 일반적으로 센서의 사용이 어려운 저온/고온 환경, 수중 환경, 방사선 노출 환경에서도 촉각 물리량 측정 가능

61) 손바닥, 어깨 관절, 팔 등 넓은 면적에서 촉각 신호를 획득할 수 있는 센서, 3차원 유연전자 프린팅 공정을 기반으로 원하는 형태로 자유롭게 제작 가능

62) Organogenesis, 'Apligraf® product details', 2021. 7. <https://apligraf.com/product-details/>

□ 로봇 손(로봇 의수)

○ 국내

- 한국기계연구원은 가벼우면서 절단 환자의 일상생활을 돕는 로봇 의수를 개발, 물체의 형상에 맞추어 손가락의 형태가 변화하며 근육에서 발생하는 전기신호를 분석하여 원하는 손동작으로 제어 가능
- 서울대학교 조규진 교수 연구실⁶³⁾에서는 손 마비 환자의 일상생활을 돕는 소프트웨어 로봇인 엑소 글러브(Exo-Glove)를 개발, 인공지능을 탑재하여 착용자의 의도 예측 가능
- 손의 기능을 완전히 보조할 수 있는 기술은 미개발, 선진국에서도 일부 기능을 보조하거나 증강시키는 방향으로 제품이 개발되고 있음



<그림 29> 한국기계연구원의 로봇 의수

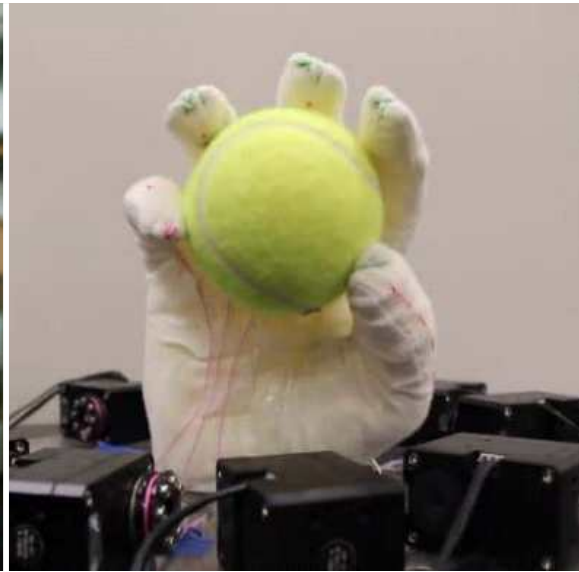
<그림 30> 서울대학교의 Wearable Hand Exo-Glove Poly⁶⁴⁾

○ 국외

- 스웨덴의 웨어러블 근력 증강 시스템을 개발 업체인 Bioservo는 의료·근력 증강의 목적으로 사용되는 로봇 손 Carbonhand, IronHand를 개발·판매
- 5개의 손가락을 모두 덮는 장갑과 파워팩 등으로 구성된 IronHand는 사용자가 직접 힘, 손가락 사이의 균형, 감도 등을 작업 상황에 맞게 조절하여 사용 가능

63) 서울대학교 바이오로보틱스 연구실, 2021. 7. <https://www.biorobotics.snu.ac.kr/>

64) 서울대학교 바이오로보틱스 연구실, 'Wearable Hand Exo-Glove Poly', 2021. 7.



<그림 31> Bioservo社 로봇 손 Ironhand⁶⁵⁾ <그림 32> ETH Zurich의 로봇 손 SAM⁶⁶⁾

□ 인공 달팽이관(인공 와우)

○ 국내

- 마찰 전기 발생 원리를 이용해 달팽이관 기능을 모사한 인공 기저막을 세계 최초로 개발(2016년, DGIST 최홍수 교수, 아주대병원)⁶⁷⁾하는 등 관련 연구가 진행되어 차세대 인공와우 장치의 핵심기술로 활용 기대
- 토닥은 이식형 전자 의료기기 개발 국내 스타트업, 임상 적용 가능한 32채널 인공와우 전극 개발⁶⁸⁾, 2022년 출시 목표 국제규격 신뢰성 시험 진행 중
- 국내 업체의 경우 기술개발에는 성공하였으나 사업화는 미흡하여 영세한 수준이며, 좁은 국내시장보다는 동남아·남미 등 틈새시장을 개척하려는 움직임을 보임⁶⁹⁾
 - * (주)뉴로바이오텍에서 서울대병원 이비인후과와 협업하여 세계 4번째로 인공 달팽이관 개발 성공⁷⁰⁾
- 국내 인공 달팽이관 시장은 2014년 346억 원에서 2018년 685억 원까지 증가하였으나 대부분 해외에서 수입하여 사용 중

65) BIOSERVO, Ironhand, 2021. 6.

66) ETH Zurich, Robotic motion and design, 2019. 1.

67) 노컷뉴스, 'DGIST, 마찰전기 이용한 인공와우 제작 기술 개발', 2016. 6.

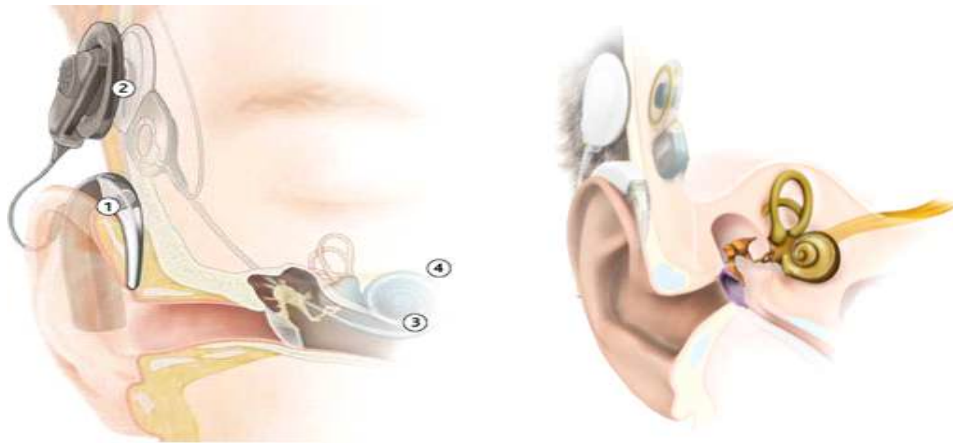
68) 라포르시안, '토닥, 임상용 32채널 인공와우 전극 제작기술 개발', 2021. 7.

69) 김찬호, "인공 와우", KISTi Market Report, 2015. 10.

70) 한국경제신문, "뉴로바이오텍, 10년 도전 끝에 인공 와우 개발", 2010. 8.

○ 국외

- Cochlear(호주), 미국 Advanced Bionic(미국), MED-EL(오스트리아) 등의 기업에서 신경자극·무선통신·미세가공 등 첨단 복합 기술 보유 중, 장비 가격 및 유지비 높게 형성되어 있음
- 호주의 인공 와우 전문 회사인 Cochlear는 세계 최초로 멀티채널 인공 와우를 개발하였으며, Nucleus 7 등 중등도 내지 심도 난청자를 위한 인공 와우를 생산·판매하여 전 세계적으로 가장 높은 점유율을 차지함
- 국내의 경우 (주)뉴로바이오텍⁷¹⁾에서 서울대병원 이비인후과와 협업하여 인공 달팽이관 개발 추진, 약 10년간 연구를 통해 인공 달팽이관 개발에 성공함(2010년)
 - * 호주, 미국, 오스트리아에 이어 세계 4번째로 인공 달팽이관 개발 성공, 식품의약품안전청 인허가 획득(2009년)⁷²⁾



<그림 42> Cochlear社 인공와우(좌)⁷³⁾, MED-EL社 인공 와우(우)⁷⁴⁾ 모식도

□ 인공 심장

○ 국내

- 인공심장 개발 경험*과 수술 및 사후관리를 위한 세계적 수준의 의료진을 보유하고 있어 상용화에 유리한 여건을 갖추고 있으나, 중소·벤처기업이 높은 비중을 차지하여 관련 기업의 규모가 작고 정부 투자에 의존하는 경향
 - * 한국형 인공심장 KORTAH 개발(2000년대 초), 이후 이를 개선한 이식형 양심실 보조 장치인 애니하트(AnyHeart) 임상 적용

71) 서울대학교 전기공학부 산학 기업

72) 한국경제신문, '뉴로바이오텍, 10년 도전 끝에 인공 와우 개발', 2010. 8.

73) Cochlear, 인공와우 시스템, 2021. 7. <https://www.cochlear.com/>

74) MED-EL, 인공와우 시스템, 2021. 7. <https://www.medel.com/>

- 서울대병원 등에서 '스텐트-폐동맥 인공심장판막' 등이 개발(2018년) 되어⁷⁵⁾ 수입 판막 대체 효과를 보이고 있으나, 환자의 몸에 이식하는 인공심장의 경우 수입에 의존하고 있음
- 인공장기 산업에 대한 심사 및 개발 관련 세부규정이 미흡하고, 제품의 허가 및 등록 절차가 복잡하여 상용화의 걸림돌로 작용

○ 국외

- 미국 Abbott Laboratories社は 대표적 인공 심장인 HEARTMATE 제품을 생산, 2세대 버전인 HEARMATE2는 전 세계에서 가장 많이 사용되었으며 현재는 3세대 버전인 HEARMATE3가 출시되어 활용 중
- 2020년 12월 삼성서울병원에서 국내 최초 HEARMATE3를 활용한 3세대 인공 심장 첫 번째 수술에 성공⁷⁶⁾
 - * HEARTMATE3는 2020년 7월 식품의약품안전처의 허가를 받아 국내 도입



<그림 43> Abbott社 HEARTMATE3⁷⁷⁾

75) 의학신문, '서울대병원 개발 인공심장판막, 식약처 시판 허가 획득', 2018. 10.

76) 삼성서울병원 블로그, '최신 3세대 인공 심장, 국내 첫 수술!', 2020. 12.

77) Abbott, 'Heartmated 3 LVAD', 2021. 7. <https://www.cardiovascular.abbott/>

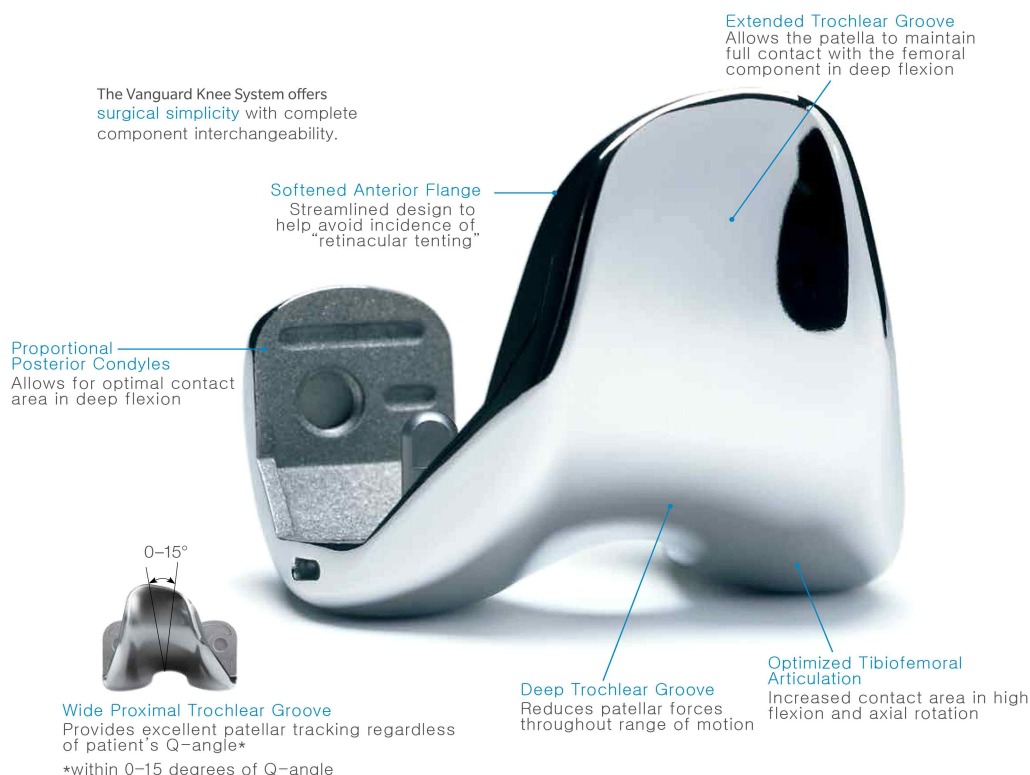
□ 인공 관절

○ 국내

- 국내 인공관절 시장규모는 2016년 기준 약 1,291억 원으로 외산 제품이 91%, 국산 제품이 9%를 차지하는 등 수입의존도가 매우 높은 실정
 - * 인공엉덩이 및 인공무릎관절을 제외한 나머지 품목(인공 발목/팔꿈치/손가락/어깨 관절) 100% 수입
- (주)코렌텍, (주)셀루메드, (주)써지텍 등의 국내 기업이 존재하며 인공엉덩이 관절의 경우 시장 점유율 3위를 차지, 금속 3D 프린팅 기술을 기반으로 진입장벽이 높은 인공 관절 시장경쟁력 확보 노력 중⁷⁸⁾

○ 국외

- 1927년 설립된 미국 Zimmer Biomet 社は 2014년 Biomet 합병 이후 세계 인공 무릎·엉덩이 관절 등 세계 인공 관절 시장의 30% 이상의 높은 점유율을 유지



<그림 44> Zimmer Biomet社 Vanguard Cruciate Retainig Knee⁷⁹⁾

78) 매일경제신문, “한국산 인공관절 코렌텍 세계인공관절 치료시장 판도 바꾼다.” 2021. 4.

79) Zimmer Biomet, Vanguard Cruciate Retainig Knee brochure, 2016.

<표 4> 인체 증강 기계 분야 주요 기업/기관 동향

인체 증강 기계 (분류)	기관명 (국가/분류)	개 요	대표 성과
외골격 로봇	Lockheed Martin (미국/기업)	<ul style="list-style-type: none"> 1995년 록히드 사와 마틴 마리에타 사가 합병하여 설립, 세계 대표 군수 업체로 ONYX 등 근력증강 로봇 시장 선도 	ONYX 등 민수·군수용 외골격 로봇 개발
근육 옷감	한국기계연구원 (한국/연구소)	<ul style="list-style-type: none"> 1976년 기계분야의 연구개발, 성과확산, 신뢰성 평가 등을 통해 국가 및 산업계의 발전에 기여하기 위해 설립된 과학기술정보통신부 산하 정부 출연연구기관 	자체 질량 1,500배 근육 옷감 개발
인공 피부	Organogenesis Holdings (미국/기업)	<ul style="list-style-type: none"> 1985년 MIT에서 개발된 기술의 스핀 오프를 기반으로 설립, Apligraf 등 세계적 인공 피부 제조 업체 	퀘양, 상처에 효과적인 인공 피부 Apligraf 생산
	한국기계연구원 (한국/연구소)	<ul style="list-style-type: none"> 1976년 기계분야의 연구개발, 성과확산, 신뢰성 평가 등을 통해 국가 및 산업계의 발전에 기여하기 위해 설립된 과학기술정보통신부 산하 정부 출연연구기관 	피부형 유연 촉각 센서 개발
로봇 손	Bioservo (스웨덴/기업)	<ul style="list-style-type: none"> 2006년 왕립 공과대학의 연구원들과 카롤린스카 병원 이사 간의 협력을 통해 설립, IronHand 등 웨어러블 근력 증강 시스템 개발 세계 선도 업체 	IronHand, Carbonhand 등 웨어러블 로봇 손 개발
	한국기계연구원 (한국/연구소)	<ul style="list-style-type: none"> 1976년 기계분야의 연구개발, 성과확산, 신뢰성 평가 등을 통해 국가 및 산업계의 발전에 기여하기 위해 설립된 과학기술정보통신부 산하 정부 출연연구기관 	절단 환자용 로봇의수 및 근전도 인터페이스 개발
인공 달팽이관	Cochlear (호주/기업)	<ul style="list-style-type: none"> 1981년 설립, Nucleus 달팽이관 임플란트, 하이브리드 전기 음향 임플란트 및 Baha 골전도 임플란트를 설계, 제조 및 공급하는 의료 기기 회사 	세계 최초 멀티채널 인공 와우 개발
인공 심장	Abbott Laboratories (미국/기업)	<ul style="list-style-type: none"> 1888년 시카고 의사 Wallace Calvin Abbott에 의해 알려진 약물을 제조하기 위해 설립, 일리노이 주 애보트 파크에 본사를 둔 다국적 의료 기기 및 건강 관리 회사 	세계 최대 인공 심장 이식 HEARTMATE2 개발
인공 관절	Zimmer Biomet (미국/기업)	<ul style="list-style-type: none"> 1927년 알루미늄 부목을 생산하기 위하여 설립, 무릎, 엉덩이, 어깨 등을 개발 생산하는 세계적 인공 관절 제조 업체 	인공 관절 분야 세계 시장 30% 이상 점유

4. 시사점 및 제언

□ 인체 증강 기계 미래상

- 보조와 증강의 개념이 모호해지며, 쉽고 흔하게 접하는 인체 증강 기계 기술
 - 가까운 미래: 망실·손상·저하된 인체의 구조와 기능을 대체·보완·회복하는 방향으로 발전
 - 먼 미래: 인체의 본래 구조와 기능을 초월하는 증강·증폭의 개념, 잃어버린 기능을 복원해 줄 뿐만 아니라 다른 종류의 증강을 촉진시키는 방향으로 발전
 - 시력이 나쁜 사람이 안경을 쓰고, 자동차의 낡은 타이어를 교체하는 것처럼 손쉽게 인체 부위를 교체하거나 다시 자라나게 할 것
 - 암세포, 테라토마 연구 등을 통해 도마뱀의 꼬리처럼 필요한 부위에 새로 자라나는 인체 조직배양 기술 발전
- 인지 증강, 확장 현실 기술과 접목하여 시너지 효과 창출
 - 뇌 과학, 뇌 공학, 뇌파 및 신경 인터페이스 기술의 발전을 통해 신체 능력과 함께 기억력, 집중력 등 인지 능력도 증강, 기억이나 지식을 저장하고 전송, 생각만으로도 움직일 수 있는 인체(또는 기계)
 - * 인지 증강((Augmented Cognition): 정보기술과 신경기술을 활용하여 주의, 기억, 학습, 독해력, 구상력 등을 확장하는 기술⁸⁰⁾
 - 귀로 보는 소리 풍경⁸¹⁾, 피부로 듣는 소리⁸²⁾ 등⁸³⁾ 망가진 외부기관을 고치거나 복제품으로 대체할 필요 없이 인간 뇌의 가소성을 활용한 감각 치환(Sensory Substitution)* 기술의 발전
 - * 손상되거나 기능이 저하된 감각의 정보를 다른 형태의 감각으로 전환하여 전달 또는 사용하는 것⁸⁴⁾
 - 메타버스(Metaverse), 디지털 트윈 등 AR/VR/MR이 통합된 확장 현실(XR, eXtended Reality)을 활용해 연동되는 인간-기계 상호작용으로 편의성 및 생산성 도모

80) 한국정보통신기술협회 정보통신용어사전

81) 이미지의 화소를 음성으로 변환해서 시각 장애인이 청각을 통해 주변 세계를 '보게' 해주는 기술

82) 소리를 전기 펄스로 변환하여 피부에 전함으로써 청각 장애인이 촉각을 통해 소리를 '듣게' 해주는 기술

83) 에덤 피오리, 「신체 설계자」, 서울: 미지북스, 2019, pp.163-171 참고인용

84) 문경덕 외 7명, 「감각치환 기술동향」, 전자통신동향분석, 2019. 8.

<표 5> 미래 인체 증강 기계 진화 방향⁸⁵⁾

인체 증강 기계	현재		미래
	Abnormal ⁸⁶⁾ (망실/손상/저하)	Normal (대체/보완/회복)	Supernormal (증강/보강/증폭/추가)
인공 근육·관절, 웨어러블 로봇	<ul style="list-style-type: none"> 근골격계의 구조 결손 또는 기능 상실·약화 등 	<ul style="list-style-type: none"> 구조와 기능의 회복 장애인 및 노약자, 노동자 및 병사의 기본 근력 지원 외골격, 착용형 다수 	<ul style="list-style-type: none"> 인공신경망 기반 근육의 수축·이완, 생각만으로 움직이는 신체 자유도가 높은 소프트 로봇으로 발전 (입는 근육, 붙이는 관절) 슈퍼 근력으로 택배/돌봄/노동 등 산업 전반에 기여 항온/항습 및 유해물질 탐지 등 편의기능 추가
로봇 손/발	<ul style="list-style-type: none"> 신체 부위가 없거나 기능이 약화 절단, 손상, 마비, 노화 등 	<ul style="list-style-type: none"> 신체 부위가 없거나 손상된 환자를 위한 ‘대체’의 개념 간단한 동작 등 일상생활 보조 	<ul style="list-style-type: none"> 신체 부위의 정상적 기능을 뛰어넘는 ‘부가’의 개념 신체의 기본적 형태·동작뿐만 아니라 보안·안전·초감각·금융·통신 등의 최신 기술 적용된 일종의 액세서리로 진화 장갑을 고르고 신발을 갈아 신는 것처럼 개인 상황에 따라 자유롭게 적용
인공 장기	<ul style="list-style-type: none"> 장기의 구조 결손 또는 기능 상실·약화 	<ul style="list-style-type: none"> 의료용 소재를 이용하여 구조물을 대체하거나, 공여 장기 이식 전까지 가고 요법으로 활용 별도의 배터리 혹은 충전 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 혈류량, 약물/호르몬 농도 등 각종 수치까지 자동으로 모니터링·제어하는 지능형 인공 장기로 발전 바이오 연료전지가 장착되어 별도의 배터리 불필요 조직공학·재생의학의 발전으로 자동차 타이어를 교체하듯 인체 부위를 교체하거나 다시 자라게 함
인공 감각기	<ul style="list-style-type: none"> 감각기관의 구조 결손 및 기능 상실·약화 시각 장애, 청각 장애, 화상 등 	<ul style="list-style-type: none"> 정상의 감각기관과 비슷한 외관으로 회복 정상의 감각기관과 비슷한 수준으로 기능하도록 교정·회복 	<ul style="list-style-type: none"> 감각기능 증폭(예: 독수리/타조 수준⁸⁷⁾의 시력과 시야각) 부가 기능 탑재(예: 유해 물질 탐지, 자외선/충간소음/미세먼지 차단, 미니 시각 디스플레이, 암막 기능 등) 망가진 감각기관을 고치거나 대체할 필요 없이 뇌 가소성을 이용한 감각 치환 기술과 연계 발전(예: 귀로 보고, 피부로 듣고)

85) 한국기계연구원 내부 전문가 그룹 의견 정리

86) 신체기능 관점

87) 독수리의 시야각은 340° 수준, 타조의 시력은 사람의 10배 이상

□ 제언

- 인체 증강에 대한 분류 기준 수립 및 분야별 청사진을 제시할 수 있는 로드맵 구축이 필요
 - 인공지능, 센서, 로봇기술의 혁신에 따라 주요국들도 미래전략 보고서에서 초개인화 관련 다양한 인체 증강 분야와 관련된 정책을 강화하고 있음
 - 인체 증강 분야에 대한 정책적 분류 체계를 설정하고 분야별 육성책을 제시할 필요가 있음
 - 인체 증강 분야는 인공지능, 센서, 로봇, 3D 프린팅, 의공학, 자가발전형 에너지 기술 등 다양한 융합형 연구의 산실이며, 관련 생태계 활성화 및 새로운 파급 산업 창출에 대해 선제적으로 검토해야 할 시점
- 분야별 맞춤형 정책 지원 및 사업화 연계 연구개발로 신산업 수요를 전략적으로 창출하여 세계시장 경쟁력 확보 필요
 - * 국내의 경우 근육 옷감 등 일부 분야에서 세계적 수준의 기술을 보유하고 있으나 사업화 및 실용화 실적은 상대적으로 미흡
 - 외골격 로봇, 근육 옷감, 로봇 의족·의수 등 착용형 분야는 일상생활 보조 및 증강, 제조, 건설, 물류 등 산업현장에서 증강 및 안전한 작업 수행 지원, 군사용, 재난/재해용 등 활용처가 다양한 신산업 창출 가능
 - 인공 피부, 근육 옷감 등 부착형 분야는 인간뿐만 아니라 다양한 부품, 장비, 로봇의 센싱과 관련된 분야에도 응용이 가능한 파급성이 높음
 - 인공 감각기, 인공 장기 등 삽입형 분야는 대부분 수입에 의존하고 있거나 미개척 영역이 많으며, 사회적 약자 지원 및 유해 물질 탐지 등에 활용이 가능
 - 착용형, 부착형, 삽입형 인체 증강 기계에 대한 품질, 인허가, 활용 규정 등에 대해 선제적인 법·제도 연구 준비 필요
 - 인체 증강 분야는 시장이 협소하거나 부재하여 중소·벤처기업 중심으로 특정 분야 중심으로 개발되고 있으나, 활용 산업의 범위가 넓고 다양한 산업들을 창출할 수 있는 분야인 만큼 장기적이고 지속적인 정책적 투자 필요

(참고) 인체 증강 기계 관련 기계(연) 주요연구 소개

【첨단생산장비연구부_로봇메카트로닉스연구실】

▪ 유연구동기를 적용한 근력보조 작업복

- 노령화와 힘든 작업 기피에 의한 노동인력 감소, 택배, 유통, 물류 산업현장에서 신체 일부분의 과도한 사용이나, 무거운 물건을 드는 동작 등으로 인하여 발생하는 근·골격계 질환 등의 문제 해결을 위한 소프트 웨어러블 로봇 개발
- 가볍고 부드러우며 착용이 쉽고, 착용상태에서 신체의 움직임을 방해하지 않는 저가의 유연한 구동기를 적용한 근력보조 작업복의 개발
- 소프트 웨어러블 로봇을 구현하기 위한 핵심요소인 가반하중 10kg이상의 유연 구동기 개발

▪ 100m를 7초에 주파하는 로봇슈트

- 장시간 착용, 빠른 의도파악, 100m 7초 주파 가능한 초경량 소프트 로봇슈트 핵심 요소기술 개발
- 미세직경($40\mu\text{m}$) 형상기억합금 와이어를 이용한 SMA(Shape Memory Alloy, 형상기억합금) 스프링 실 및 이를 직조한 옷감처럼 가볍고 유연한 근육 옷감 개발
- 근력보조가 필요한 부위, 필요한 때에 자유롭게 근육 옷감을 부착할 수 있는 일상복 형태의 근력보조 웨어러블 로봇 개발



<일상복처럼 입을 수 있는 의복형 웨어러블 로봇>

【나노융합장비연구부_자연모사응용연구실】

▪ 환부 맞춤형 피부 재생을 위한 직접 도포용 3D 바이오 프린팅 장비

- 환부 직접 도포용 3D 바이오 프린팅 장비/공정 기술 개발
- 바이오 프린팅용 세포/소재 가공 기술 개발
- 동물을 이용한 비임상 유효성 시험

한국기계연구원	한국과학기술연구원	분당서울대병원
환부직접 3D 바이오프린팅 장비/공정 기술 개발	3D 바이오프린팅용 소재/세포클러스터 개발	3D 바이오프린팅 인공 피부 비임상 시험
주요연구내용		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자유곡면 프린팅이 가능한 3D 바이오 프린팅 장비 개발 ▪ 고속 디스펜서와 스캐너를 포함한 프린팅 장비 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세포 클러스터 스케일업과 바이오 잉크 기술 향상과 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대동물 모델을 이용한 세포 클러스터/생체소재 인공 피부 평가
참여기관: 한국과학기술연구원, 분당서울대병원, 한양대, (주)로킷		

<연구 구성 체계>



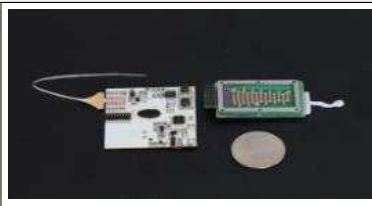
<인공 피부 연구의 핵심기술>

■ 청각기능 회복을 위한 생체모사 인공 와우

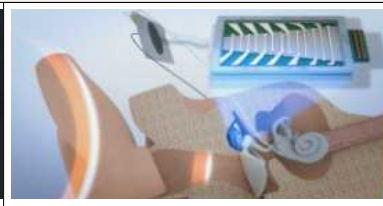
- 내이 와우(달팽이관)를 모사한 인공기저막 기술, 인공유모세포 기술, 신호처리 전자모듈 기술, 임상시험 기술로 구성되어 있으며 이러한 핵심기술을 통합하여 생체 청각기구를 모사한 신개념 인공 달팽이관 및 감각센서 기술 개발



〈생체모사 인공 기저막〉



〈완전이식형 인공 와우 패키지〉



〈완전이식형 인공 와우 모식도〉

■ 생체모사 피부형 센서 시스템

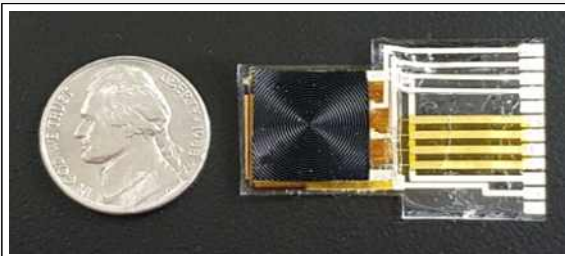
- 피부구조 및 감각 수용기를 분석하여 하나의 접촉점에 가해지는 수직압력, 전단력, 미세진동, 온도를 사람 피부수준의 민감도로 동시에 분리 측정 가능한 생체모사 피부형 센서 시스템 개발
- 3차원 유연 전자소자 프린팅 기술 적용하여 사용 중 쉽게 끊어지는 문제 해결, 전자모듈 및 분석 SW 개발로 복잡한 실험기기(오실로스코프, LCR 미터 등) 없이도 활용 가능, 여러 물리량을 실시간·동시 측정하여 복잡한 현상(표면 변화, 온도변화에 따른 무게 변화, 미끄러지는 상황 등) 구분 가능

■ 생체모사 원격 촉각 감지 센서

- 사람의 촉각신호 신호전달 기작을 모사하여 일반적으로 센서 사용이 어려운 저온/고온 환경 혹은 수중 환경, 방사선 노출 환경에서도 촉각 물리량 측정이 가능한 원격 촉각 감지 센서 개발
- 물 속에서 동작하는 로봇 핸드에 장착하여 파지 동작 시 촉각 신호를 측정, 깊이 2m 이상의 수중에서도 촉각 감지에 성공(향후, 더 높은 수압 및 위험 환경에서 사용 가능하도록 개발 중)

■ 생체모사 피부형 대면적 센서

- 손바닥, 어깨 관절, 팔뚝 등과 같이 넓은 면적에서 촉각 신호를 획득할 수 있으며, 원하는 형태로 자유롭게 제작할 수 있는 3차원 유연 전자소자 프린팅 공정 기반 센서를 개발
- 운동 시 손바닥이나 어깨 관절 등에 가해지는 압력 분포, 크기 등을 정량적으로 측정 가능



〈생체모사 피부형 센서 3차원 집합체 소자〉



〈손가락 구조에 적용된 원격 촉각 감지 센서〉



〈인조 손바닥에 적용된 피부형 대면적 센서〉



〈로봇 팔에 적용된 피부형 대면적 센서〉

【대구융합기술연구센터_의료기계연구실 & 의료지원로봇연구실】

로봇 의수		<ul style="list-style-type: none"> - 물체의 형상에 맞추어 손가락의 형태가 변화할 수 있는 와이어 메커니즘을 이용하여 사람 손과 유사한 크기와 무게를 가지는 로봇의수 개발 - 임상시험을 통해 2채널의 근전도로부터 4가지 손동작을 인식할 수 있었으며 절단 환자는 주어진 작업에 따라 로봇의수의 동작을 자연스럽게 변화시킬 수 있었음
발목형 로봇 의족		<ul style="list-style-type: none"> - 경량성 및 안전성이 증가된 스프링 연동형 메커니즘 개발로 세계 최고기술 제품보다 무게를 줄이고 (22kg → 20kg) 동일한 배터리 사용시간(8시간)을 구현하는 발목형 로봇의족을 개발 - 로봇의족에 내장된 다양한 각도, 압력, 자세 센서를 이용해 착용자의 보행속도와 보행환경을 실시간으로 판별하고 상황에 최적화된 동작을 수행
신경 의수		<ul style="list-style-type: none"> - 원숭이의 동작의도를 인식하기 위해 말초 신경으로부터 64채널의 신경신호를 측정하고 실시간으로 분석할 수 있는 디코딩 알고리즘을 개발 - 동물실험을 통해 원숭이의 파지동작을 97.17%의 성공률로 인식할 수 있었으며 실시간으로 신경의수를 제어할 수 있었음
뇌파 인터페이스		<ul style="list-style-type: none"> - 착용자의 의도인식을 위한 능동전극 형태의 무선 32 채널 뇌전도/근전도 측정 모듈을 개발, 팔을 포함한 상반신을 사용하기 힘든 중증 장애인이 생각만으로 전동휠체어를 동작시킬 수 있는 기술 - 보행 중 뇌졸중 환자의 뇌 전위를 모니터링하고 뇌 신호원을 추정함으로써 신경 가소성을 평가할 수 있는 분석 방법을 개발
신경 인터페이스		<ul style="list-style-type: none"> - 폴리머 기판의 생체 삽입형 신경전극과 무선 통신으로 신경 신호를 전달 할 수 있는 신경인터페이스 개발 - 3차원의 굴곡진 면에도 밀착하여 삽입할 수 있으며, 척수 손상·뇌성마비 환자에게 삽입하여 의수/의족을 정교하게 움직이는 등 신체기능을 보조·대체 가능 - 삽입형 신경인터페이스 기술의 발전으로 미래에는 생각을 연결하고 뇌와 인터넷을 연결하여 사물을 조작하거나, 기억이나 지식을 전송하는 것이 가능해질 것으로 전망

고전도성 유연고무 다채널 근전도 전극 센서		<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 전도성 필러(은나노와이어, CNT, Ag&Fe flake 등) 및 고전도성 유연 고무 바이오전극을 이용하여 기존의 금속 건식 근전도 센서 대비 200% 이상 신호를 증폭할 수 있는 센서 개발 - 동작인식 및 근전도 이미지를 통해 절단 환자의 퇴화된 근육 중 최적의 센싱 위치 분석 가능
생체신호 감지용 센서 (단추형 웨어러블 센서)		<ul style="list-style-type: none"> - 생체신호를 감지하여 질병을 진단하고 건강을 모니터링 할 수 있는 전자전기-기계적 센서 및 제어기술 기반의 단추형태의 웨어러블 센서를 개발, 기존 웨어러블 센서의 탈부착 번거로움 및 세탁의 어려움 극복 - 실시간으로 체압력을 모니터링한 후 에어 액츄에이팅 제어를 통해 압력을 분산시킴으로써 피부질환을 예방하고 통증을 완화할 수 있는 발목절단 환자용 의족 소켓과 욕창예방용 매트리스 방식 개발
무자각/ 비접촉 생체신호 측정 모듈		<ul style="list-style-type: none"> - IR-UWB Radar와 Micro Thermal Camera를 이용한 생체정보(호흡, 체온)를 비접촉으로 측정할 수 있는 모듈 개발 - 감지 범위 내 사람의 호흡수 및 국소위치의 온도를 비접촉·무자각·실시간으로 모니터링 가능
인체동작 정보화를 활용한 스마트 운동기구		<ul style="list-style-type: none"> - 광학적·전기적 센서를 이용해 인체의 다양한 동작을 정밀 측정·분석하여 정보화하고, 인체와 공존 및 협업하는 기계의 효율성과 활용성을 향상시키는 연구 - 디지털세계의 아바타 동작을 재현하기 위하여 오프라인 물리세계 상의 인체의 운동을 온라인 디지털세계 (디지털트윈 또는 메타버스) 안으로 모사 또는 투영하기 위한 매개기술
뇌졸중 환자 재활을 위한 비침습 뇌 자극 로봇		<ul style="list-style-type: none"> - 집속 초음파, 자기장 및 전류 기반의 자극기를 통해 뇌 영역을 자극, 뇌졸중 환자의 뇌가소성 증진하여 비침습적 재활치료가능 - 호흡과 같은 환자의 의도치 않은 움직임에 대하여 빠르고 정밀하게 대응하기 위한 전용 로봇개발
상지 재활 로봇		<ul style="list-style-type: none"> - 사람 관절 축과 유사한 구성으로 사용자가 느끼는 체감 무게 및 관절 부하 경감이 가능한 경량 자중보상형 상지외골격 구조 개발 - 사용/비사용 시 신체 체결압력의 손쉬운 조정이 가능한 소프트 로봇 기술을 활용한 압력분산 벨트 메커니즘 개발

참고문헌

- 건강검진 뉴스, '2050년 까지 전 세계 인구 4명 중 1명 청력 손실 경험', 2021. 3.
- 과학기술정보통신부, '과학기술로 준비하는 2045년 대한민국의 미래', 2020. 8.
- 과학기술정보통신부, '대한민국 과학기술 미래전략 2045 미래를 향한 도전과제와 과학기술정책의 전환', 2020. 10.
- 김찬호, '인공 와우', KiSTi Market Report, 2015. 10.
- 노컷뉴스, 'DGIST, 마찰전기 이용한 인공와우 제작 기술 개발', 2016. 6.
- 대한무역투자진흥공사, '중국 로봇산업', 2019. 10.
- 대한무역투자진흥공사, '중국 의료기계산업 발전 현황', 2016. 7.
- 동아사이언스, '청각장애 없앨 인공와우', 2015. 1.
- 라포르시안, '토닥, 임상용 32채널 인공와우 전극 제작기술 개발', 2021. 7.
- 문경덕 외 7명, '감각치환 기술동향', 전자통신동향분석, 2019. 8.
- 매일경제신문, "한국산 인공관절 코렌텍 세계인공관절 치료시장 판도 바꾼다." 2021. 4.
- 보건복지부, 2020년 장애인실태조사 결과발표, 2021. 4.
- 산업연구원, '미래 의료기기산업의 중심, 인공 심장', 산업연구원, 2013. 12.
- 삼성서울병원 블로그, '최신 3세대 인공 심장, 국내 첫 수술!', 2020. 12.
- 서울대학교 바이오로보틱스 연구실 홈페이지, 2021. 7. <https://www.biorobotics.snu.ac.kr/>
- 서울대학교 바이오로보틱스 연구실, 'Wearable Hand Exo-Glove Poly', 2021. 7.
- 에덤 피오리, 「신체 설계자」, 서울: 미지북스, 2019. 4. pp.163-171
- 연세바로척병원, 무릎 인공관절 치환술, 2021. 7., <http://www.ysbarochuk.com/>
- 예송병원, 고관절 인공관절, 2021. 7., <https://www.yesonhospital.com/>
- 의료기기화장품산업단, '인공관절', 보건산업브리프 의료기기품목시장통계 Vol.55, 2017. 12.
- 의학신문, '서울대병원 개발 인공심장판막, 식약처 시판 허가 획득', 2018. 10.
- 이준석, 박철훈, '웨어러블 로봇의 기술동향과 산업전망', KEIT PD Issue Report, 2020. 3.
- 임종광, 장교근, 김홍철, '외골격 로봇 개발 동향', 제어로봇시스템학회 합동학술대회, 2012. 7.
- 장성재, '3차원 피부모델의 최신 연구개발 동향', BRIC View 동향리포트, 2019. 8.
- 장재호, 송우근, '착용형 로봇의 기술현황', 기계저널, 2016. 2.
- 정선화, 최병철, '휴먼증강 기술 주요 동향과 R&D 시사점', 한국전자통신연구원 Insight Report, 2019. 6.

- 중앙일보, 'SK바이오랜드가 만드는 별별 의료 소재들', 2019. 6.
- 통계청, 장래인구특별추계(2017~2067년), 2019. 3.
- 한국경제신문, "뉴로바이오시스, 10년 도전 끝에 인공 와우 개발", 2010, 8.
- 한국과학기술기획평가원, '디지털 휴먼증강 미래 유망 기술·서비스', KISTEP 미래예측 브리프, 2020. 4.
- 한국과학기술정보연구원, '인공 피부', 2002. 12.
- 한국기계연구원, '택배-돌봄노동부터 재활훈련까지 힘 필요한 신체 부위 어디든 쉽게 붙여쓰는 근육 옷감 개발', 2021. 4.
- 한국보건산업진흥원 보건산업브리프 의료기기시장통계, '인공 관절', 2017. 12.
- 한국정보통신기술협회, 정보통신용어사전, 2021. 7. <http://word.tta.or.kr/>
- 헬스조선, '인공 관절은 무엇으로 만드는가?', 2021. 7. <https://health.chosun.com/>
- 현대로템 공식블로그, '현대로템의 웨어러블 로봇', 2017. 6.
- 戦略分野の検討「スマートに生み出す `スマートに手に入れる」, 2016. 11.
- Abbott, 'Heartmated 3 LVAD', 2021.7. <https://www.cardiovascular.abbott>
- Army Technology, 'Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit', 2020. 5.
- B. B. Kang et. al. 'Development of a Polymer-Based Tendon-Driven Wearable Robotic Hand', IEEE Conf. on Robotics and Automation, May 2016.
- BIOSERVO, Ironhand, 2021. 6.
- Cochlear, 인공와우 시스템, 2021. 7. <https://www.cochlear.com/>
- CYBATHLON of ETH Zurich, 2021. 7., <https://www.cyathlon.com/>
- ETH Zurich, Robotic motion and design, 2019. 1.
- FORD Media Center, 'EksoVest', 2017. 11.
- GT 심층분석보고서, '유럽 로봇틱스 전략 연구 아젠다 (2020)', 2016. 11.
- IBK 경제연구소, '아베의 성장로드맵 <Society 5.0>과 시사점', 2018. 4.
- LG CNS 블로그, '산업현장, 로봇 수트가 함께 한다', 2018. 8.
- Lockheed Martin, Military, 2021, 7., <https://www.lockheedmartin.com/>
- Lockheed Martin, ONYX, 2021, 7., <https://www.lockheedmartin.com/>
- MarketsandMarkets, Exoskeleton Market: Global Forecast to 2023, 2017.
- MarketsandMarkets, Hearing Aids Market: Forecast to 2022, 2017.
- MarketsandMarkets, Human Augmentation Market: Global Forecast to 2024, 2019.
- MarketsandMarkets, Pacemaker Market: Forecast to 2023, 2018.

MarketsandMarkets, Wound Care Biologics Market; Global Forecast to 2023, 2018.

MED-EL, 인공와우 시스템, 2021. 7. <https://www.medel.com/>

Organogenesis, 'Apligraf® product details', 2021. 7. <https://apligraf.com/product-details/>

Rick Proser, 'An image of an artificial heart exhibited at London science museum', 2008. 12.

Tech Explorist, 'Artificial skin that could temporarily tighten the skin', 2016. 5.

Technavio, 'The Number of Cochlear Implants Shipped Worldwide is Expected to Hit 96,000 by 2020', 2016. 2.

Textile Learner, 'Artificial Skin: Characteristics, Raw Materials and Uses', 2018. 8.

World Health Organization, Fact sheets-Disability and health, 2020. 12.

Zimmer Biomet, Vanguard Cruciate Retaining Knee brochure, 2016.

기계기술정책 발간 목록

제 목	작성 연월
71. 글로벌 3D 프린터 산업, 기술 동향 분석	2013.09.
72. 독일 기계산업 경쟁력 분석과 시사점	2013.11.
73. 기계산업 2013년 성과 및 2014년 전망	2013.12.
74. 2014년 기계산업이 주목해야 할 트렌드 분석과 시사점	2014.02.
75. 우리나라 기계산업 품목별 수출 시장 점유율 분석과 시사점	2014.04.
76. 우리나라의 TPP 참여에 대비한 기계산업 품목별 관세 전략 수립	2014.09.
77. 2014 미래기계기술포럼코리아 주요 내용과 시사점	2014.11.
78. 기계산업 2014년 성과 및 2015년 전망	2014.12.
79. 최근 기계산업 대일무역역조 개선의 원인과 시사점	2015.06.
80. 기계산업의 빅데이터 활용 동향 분석과 시사점	2015.10.
81. 우리나라 해양플랜트 산업의 문제점 진단과 경쟁력 강화 방안	2015.12.
82. 기계산업 2015년 성과와 2016년 전망	2016.01.
83. 건설기계산업의 문제점 진단과 경쟁력 강화 방안	2016.05.
84. 4차 산업혁명과 기계산업의 미래	2016.11.
85. 기계산업 2016년 성과와 2017년 전망	2017.02.
86. 신기후체제에 대응한 농촌 바이오가스플랜트 사업의 기회	2017.07.
87. 해외 선도 기관과의 기계기술 연구 분야 비교 분석	2017.11.
88. 산업용 로봇 시장 동향과 대응	2017.12.
89. 기계산업 2017년 성과와 2018년 전망	2018.01.
90. 새로운 시대 소통 역량: 4차 산업혁명 연계기술	2018.07.
91. 국방분야 생존성 향상 기술 동향	2018.08.
92. 차세대 디스플레이 마이크로 LED 기술의 부상과 시사점	2018.09.
93. 기계산업 2018년 성과와 2019년 전망	2019.02.
94. 중국제조 2025 주요 제조장비 개발 계획과 대응 전략	2019.06.
95. 한·중·일 공작기계 및 기계요소 수출경쟁력 분석 및 제언	2019.07.
96. 미국 반도체 장비 기업의 성장과 시사점	2019.12.
97. 기계산업 2019년 성과와 2020년 전망	2020.01.
98. 글로벌 농기계산업 동향 분석	2020.02.
99. 포스트 코로나(Post COVID-19), 유망 기계기술 및 제언	2020.06.
100. 우리나라 제조장비기업의 성장·혁신·수익 패턴 분석과 시사점	2020.08.
100(특집호). 기계산업 데이터 활용 및 분석 방법 제언	2020.08.
101. 탄소중립 글로벌 동향과 기계기술 제언	2021.01.
102. 기계산업 2020년 성과와 2021년 전망	2021.01.
103. 수소 산업의 글로벌 기술동향 및 정책 전망	2021.05.
104. 인체 증강 기계의 동향과 전망	2021.08.

기계기술정책

Technology Policy for Mechanical Engineering

:: No. 104 인체 증강 기계의 동향과 전망

| 발행인 | 박상진

| 발행처 | 한국기계연구원

| 발행일 | 2021. 8.

| 기획·편집 | 기계기술정책센터

| 주소 | 대전광역시 유성구 가정북로 156

| 전화 | (042) 868-7239

